

Der Bau und die lebendigen Eigenschaften
der Pflanze.

Der Bau und die technische Ausführung
der Eisenbahn

Verlag von Carl Neumann

Einleitung.

Die Erforschung der Pflanzenwelt in alter und neuer Zeit.

Die Betrachtung der Pflanzen vom Nützlichkeitsstandpunkte.

Vor Jahren durchstreifte ich das Bergland Oberitaliens. Es war im wunderschönen Monat Mai. In einem kleinen, abgeschiedenen Tale, dessen Gehänge mächtige Eichen und hohes Strauchwerk dicht bekleideten, war die Flora mit allen ihren Reizen entfaltet. Goldregen und Manna-Eschen, Heckenrosen und Ginster, unzählige kleinere Stauden und Gräser standen in voller Blüte, aus jedem Busch ertönte das Lied einer Nachtigall, und ich genoß in vollen Zügen die ganze Herrlichkeit eines südlichen Frühlingmorgens. An einer Stelle ausruhend, äußerte ich meinem Führer, einem italienischen Bauern, meine Freude über die vielen Bäumchen des Goldregens, die mich durch ihre Blütenpracht, und über die zahlreichen Nachtigallen, die mich durch ihren Gesang entzückten. Wie grausam wurde ich aber aus meiner Stimmung gerissen, als er lakonisch antwortete: der Goldregen sei so üppig, weil sein giftiges Laub von den Ziegen nicht abgerissen werde, und Nachtigallen gebe es zwar noch viele, Hasen aber fast keine mehr. Für ihn und gewiß noch für tausend andere war das mit blühenden Büschen bedeckte Tal ein Weideplatz und die Nachtigall eine Beute des Jägers.

Dieses kleine Erlebnis scheint mir bezeichnend für die Art und Weise, wie die große Masse der Bevölkerung Tier- und Pflanzenwelt auffaßt. Die Tiere sind ihr Wildbret, die Bäume Bau- und Brennholz, die krautartigen Gewächse Gemüse, heilsame Medikamente und Nahrung für die Haustiere und die Blumen allenfalls noch Schmuck und Zierat für den Garten oder für menschliche Festtage. Wohin ich meine Schritte gewendet, in aller Herren Ländern, die ich botanisierend durchzogen, waren die Fragen der angesessenen Bevölkerung immer einander gleich. Überall sollte ich Auskunft geben, ob die Pflanzen, die ich auffuchte und aufsaß, giftig oder nicht giftig seien, ob sie gegen diese oder jene Krankheit mit Erfolg verwendet werden könnten, und durch welche Merkmale man die heilsamen oder sonst brauchbaren Gewächse zu erkennen und von den anderen zu unterscheiden vermöchte. Und genau so wie heutzutage hielt es die große Menge der ländlichen Bevölkerung in vergangenen und längst vergangenen Zeiten. Überall war es zunächst die Sorge für den Lebensunterhalt, das Bedürfnis den eigenen Hunger zu stillen, das Wohl und Wehe der Familie, das Herbeischaffen von Nahrung für die Haustiere, wodurch die Menschen zur Unterscheidung der Gewächse in nahrhafte und giftige, in wohlschmeckende und ungenießbare veranlaßt und zu Kulturversuchen und Beobachtungen der Lebenserscheinungen der Pflanzen angeregt wurden.

Nicht weniger wurde man durch den Wunsch, die Hoffnung und den Glauben, daß durch höhere Mächte einzelne Gewächse mit heilkräftigen Wirkungen ausgestattet wären, zur Untersuchung von Kräutern, Wurzeln und Samen sowie zur eingehenden Vergleichung und Feststellung der Verschiedenheiten ähnlicher Formen und Gestalten hingedrängt. Im alten Griechenland gab es eine eigene Zunft, die Rhizotomen, welche die für heilsam gehaltenen Wurzeln und Kräuter sammelten, zubereiteten und entweder selbst feilboten oder durch die Pharmakopolen feilbieten ließen. Viele von ihnen waren medizinisch erfahrene und gebildete Männer, wie der am Hofe des wegen seiner Pflanzenkenntnis berühmten Königs Mythisridates von Pontus lebende Krateuas. Dieser fügte seinem Pflanzenwerke Abbildungen bei, von denen sogar ein Teil auf uns gekommen ist. Wie von diesen Rhizotomen wurde auch von griechischen, römischen und arabischen Ärzten, z. B. Hippokrates, Dioskorides, Avicenna, und wohl auch von Gärtnern, Winzern und Ackerbauern mit wechselndem Glück und Talent über die Pflanzenwelt eine Summe von Kenntnissen erworben, die lange Zeit hindurch allein als botanische Wissenschaft galt. Noch im 16. Jahrhundert war die Auffassung der Pflanzenwelt vom reinen Nützlichkeitsstandpunkte nicht nur die der Mehrheit der Menschen, sondern auch die sehr vieler Fachgelehrten, und in den meisten Bücherwerken jener Zeit, die den Namen „Kräuterbücher“ führen, findet man die medizinische „Kraft und Würdung“ sowie überhaupt den Nutzen der beschriebenen und unterschiedenen Gewächse an hervorragender Stelle und in ausführlicher Weise behandelt. So wie man in dem festen Glauben lebte, daß die Gestirne mit den menschlichen Schicksalen im Zusammenhange stehen, war man auch in der Ansicht befangen, daß alle Wesen der Erde nur des Menschen wegen da seien, und daß insbesondere in jeder Pflanze verborgene Kräfte schlummern, die, frei gemacht, dem Menschen entweder zum Heil oder zum Schaden gereichen. Man forschte nach Anhaltspunkten, um diese Geheimnisse der Natur erschließen zu können, vermeinte in vielen Gewächsen Zaubermittel zu erkennen und glaubte auch aus der Ähnlichkeit von Blättern, Blumen und Früchten mit irgendwelchen Teilen des menschlichen Körpers eine von den überirdischen, schaffenden Mächten ausgehende Andeutung finden zu können, wie der betreffende Pflanzenteil auf den menschlichen Organismus einzuwirken bestimmt sei. Die Ähnlichkeit eines Laubblattes mit der Leber galt als ein Fingerzeig, daß dieses Blatt gegen Leberkrankheiten mit Erfolg angewendet werden könne, die herzförmige Zeichnung auf einem Blumenblatt oder die herzähnliche Gestalt einer Blüte sollte ein Heilmittel gegen Herzkrankheiten bedeuten, und in ähnlicher Weise entstand die sogenannte Signaturlehre, welche, besonders durch Bombastus Paracelsus ausgebildet, im 16. und 17. Jahrhundert eine große Rolle spielte und ja eigentlich in der Sucht nach Geheimmitteln auch heute noch fortlebt. Die Menge neigt noch immer, wie vor Jahrhunderten, mehr zu mythischen, übernatürlichen, als zu natürlichen, einfachen Deutungen, und einem Bombastus Paracelsus würde es auch gegenwärtig an gläubigen Anhängern durchaus nicht fehlen. In Wahrheit ist auch die Auffassung der Pflanzenkunde als Dienerin der Medizin und der Landwirtschaft, die Auffassung der Botanik vom reinen Nützlichkeitsstandpunkte, bei der weitaus größten Mehrzahl der Menschen derzeit nicht wesentlich anders als vor 200 und 2000 Jahren, doch dürfte es wohl an der Zeit sein, daß sie sich über diese Stufe erhebe.

Neben der ersten, des Lebens Notdurft entsprungenen Pflanzenkenntnis hatte sich schon früh eine zweite Richtung Bahn gebrochen, welche in dem Schönheitsgeföhle des Menschen ihren Ursprung hat. Diese beschränkte sich in ihren ersten Anfängen auf die

Benutzung des Laubwerkes und der Blumen wild wachsender Pflanzen zu Schmuck und Zierat, veranlaßte aber später auch die Anzucht schöner Gewächse in Gärten und führte schließlich zur Ziergärtnerei und Gartenkunst, die in verschiedenen Zeiten und bei verschiedenen Völkern, entsprechend der eben maßgebenden Auffassung des Schönen, die mannigfachsten Stufen durchlaufen und heute eine ebenso weite Verbreitung als erfreuliche Höhe der Entwicklung erreicht haben.

Die Beschreibung und Unterscheidung der Pflanzenformen.

Eine andere Richtung der Pflanzenkenntnis wurzelt in der Neigung der mit einem lebhaften Formensinn begabten Menschen, in die Mannigfaltigkeit der Gestalten bis in ihre letzten Einzelheiten Einsicht zu gewinnen, alle unterscheidbaren Formen nach ihrer äußeren Ähnlichkeit zu gruppieren und zu ordnen, nach Rang und Würde zu benennen, in Katalogen zu verzeichnen und die geschaffenen Register instand zu halten. Bei manchen kommt dazu noch der merkwürdige Sammeltrieb, der nur im Zusammentragen und Aufhäufen und im Besitz umfangreicher Sammlungen jener Gegenstände, denen sich seine Leidenschaft zugewendet hat, eine Befriedigung findet.

Für die Geschichte der Botanik ist diese Richtung des menschlichen Geistes sehr wichtig geworden, denn sie führte zur Botanik als Wissenschaft. Ihre ersten Spuren lassen sich mit Sicherheit weit über den Beginn unserer Zeitrechnung zurückführen; gar vieles, was die von Theophrast, dem Schüler des großen Aristoteles, um das Jahr 300 v. Chr. geschriebene „Naturgeschichte der Pflanzen“ an Beschreibungen und anderen einschlägigen Notizen enthält, beruht auf den Erfahrungen und Beobachtungen der Rhizotomen, Ärzte und Landwirte, und es geht aus dem Texte der Schrift deutlich hervor, daß manche dieser Gewährsmänner nicht ausschließlich mit Rücksicht auf die wirtschaftliche und medizinische Benutzung, sondern auch um ihrer selbst willen die Pflanzen aufsuchten und unterscheiden lernten. Theophrast selbst aber ragte geistig weit über diese bloßen Sammler hinaus, indem er nicht nur Beobachtetes und Gehörtes zusammentrug, sondern wissenschaftliche Begriffe aufstellte und allgemeine Fragen zu lösen suchte; er legte dadurch schon den Grund zu einer allgemeinen Botanik, die mit dem Griechentum verschwand und später erst von neuem geschaffen wurde. In der Römerzeit und im Mittelalter fehlte dagegen jedes Streben, sich um Gewächse zu kümmern, für die keinerlei Verwendung bekannt war. Der wißbegierige, durch dieses Streben beim Ausbruch des Vesubs 79 v. Chr. ins Verderben gelockte Plinius versuchte zwar eine große Naturgeschichte zu verfassen, in der er auch alles über die Pflanzen Bekannte zusammentrug, aber er stand dieser selbst im Verständnis fern und nahm kritiklos alles auf, was er erfahren konnte. Im ganzen Mittelalter gab es nur einen einzigen Mann, der sich wissenschaftlich mit Pflanzen befaßte, den Dominikanermönch Albert von Bollstädt, bekannt unter dem Namen Albertus Magnus (gest. 1280), den man wegen seiner Gelehrsamkeit, trotz seiner Zugehörigkeit zum Klerus, beinahe für einen Zauberer hielt. Einen großen Aufschwung erfuhr hingegen das Aufsuchen, Beschreiben und Verzeichnen aller unterscheidbaren Pflanzenformen in jenem Zeitabschnitt, in dem sich bei den Völkern des Abendlandes das Bedürfnis nach dem Studium der hellenischen Geisteskräfte, das Streben, sich die Anschauungsweise des Altertums anzueignen, und der

Wunsch, die eigenen Zustände mit ihr in Einklang zu bringen, Bahn zu brechen begann. Es war derselbe Zeitabschnitt, in dem auch die Kunst, von den Überlieferungen des Mittelalters sich losjagend, einer auf das Studium der Antike begründeten neuen Auffassung zu huldigen anfang, und es mag wohl die Wissenschaft, insbesondere die Naturwissenschaft, jene denkwürdige Zeit mit Recht gerade so wie die Kunst als ihre Renaissanceperiode bezeichnen. Mochte die Beschäftigung mit den naturgeschichtlichen Schriften der alten Griechen, der man sich im 15. Jahrhundert mit so jugendlicher Begeisterung zuwandte, dem Wissensdrange jener Zeit auch nicht genügen, so läßt sich doch nicht verkennen, daß sie, ähnlich wie im Bereiche der Kunst, anregend und reformierend einwirkte und zu jenem so lange vergeblichen Borne hinführte, aus dem ja auch die Alten selbst geschöpft hatten, nämlich zu der unmittelbaren Erforschung der Natur, zu dem unerschöpflichen Quell, der auf alle Zweige menschlichen Wissens und Schaffens zu jeder Zeit befruchtend und neubelebend eingewirkt hat.

Was insbesondere die Pflanzenkenntnis anlangt, so hatte das Studium der alten Griechen im Süden und Norden des Abendlandes alsbald zum eifrigsten Auffuchen und Unterscheiden der heimischen Gewächse hingeleitet und nicht bloß einen unwiderstehlichen Forschungsdrang, sondern auch eine unermüdliche Arbeitslust angeregt, deren Ergebnisse wir in zahlreichen dickleibigen auf uns gekommenen „Kräuterbüchern“ noch heute anstaunen. Durchblättert man diese Folianten, die der Mehrzahl nach der ersten Hälfte des 16. Jahrhunderts entstammen, und sucht man darin nach einem leitenden Gedanken, der bei der Anordnung des Stoffes maßgebend gewesen sein konnte, so wird man sie freilich noch unbefriedigt beiseite legen müssen. Die Pflanzen wurden eben von den Autoren beschrieben und abgehandelt, wie sie ihnen gerade in den Wurf gekommen waren, und nur hier und da findet man einen schwachen Anlauf, physiognomisch nahestehende Pflanzenarten aneinanderzureihen und in Gruppen zusammenzufassen. Auch auf die geographische Verbreitung wurde nur ganz beiläufig Rücksicht genommen. Pflanzen des heimatischen Bodens, Kräuter, die man aus den von fahrenden Theriak-Krämern eingehandelten Samen im Garten zum Keimen und Blühen gebracht, sowie endlich Gewächse, deren Früchte als Kuriositäten immer häufiger aus der aufgeschlossenen Neuen Welt nach Europa gebracht wurden, würfelte man bunt durcheinander, und alles Streben ging damals sichtlich dahin, aufzuzählen und zu beschreiben, was nur immer unter den belebenden Strahlen der Sonne ergrünte und Früchte reifte.

An die heimische Scholle gebannt, hatte die Mehrzahl der botanischen Schriftsteller jener Zeit nur ganz dunkle Ahnungen von der Verschiedenheit der Pflanzendecke anderer Zonen und Regionen. In der Meinung, die von Theophrastus, Dioskorides und Plinius vor Jahrhunderten beschriebenen, den Küstenländern des Mittelmeeres angehörenden Pflanzen müßten mit den Gewächsen ihrer rauheren Heimat identisch sein, wandten insbesondere die deutschen „Väter der Botanik“ die alten griechischen und lateinischen Pflanzennamen unbedenklich auch auf die Pflanzenarten ihrer Umgebung an und waren von der Übereinstimmung der deutschen, griechischen und italienischen Flora so fest überzeugt, daß sie selbst die zahlreichen Widersprüche in den Beschreibungen nicht irremachen und nicht abhalten konnten, immer wieder in langen Erörterungen zu untersuchen, ob Theophrast und Dioskorides diese oder jene Pflanze mit einem bestimmten Namen gemeint haben dürften. Erst nach und nach gab man diese unfruchtbaren Verhandlungen über die griechischen und lateinischen Namen der Gewächse, mit denen man viele Seiten der Kräuterbücher füllte, auf.

Man lernte allgemach einsehen, daß den vergilbten Blättern der alten Schriften, trotz aller Ehrfurcht vor ihrem anregenden Werte, das grüne Buch der Natur doch noch weit vorzuziehen sei, und gab sich nun ganz der unmittelbaren Erforschung der heimischen Pflanzenwelt hin. Dieser Wendepunkt war gegen Ende des 16. Jahrhunderts eingetreten, und der erste, der in seinen umfangreichen Werken die philologischen Haarspaltereien vermied, auch den Nützlichkeitsstandpunkt verließ und nur noch von dem Wunsche geleitet war, alles, was da sproßt und blüht, kennen zu lernen, zu unterscheiden, zu beschreiben, womöglich auch im Garten zu kultivieren und durch Abbildungen der Mitwelt zur Anschauung zu bringen, war Charles de l'Écluse aus Artois, der nach der Sitte der damaligen Zeit seinen Namen in den lateinischen Clusius umwandelte. Clusius war auch der erste, der, befeelt von dem Wunsche, mit eigenen Augen zu sehen, wie die Pflanzenwelt jenseit der Berge aussehe, botanische Reisen ausführte und zum Zwecke der Erweiterung der Pflanzenkenntnis Europa von den spanischen Sierrren bis an die Grenzen der ungarischen Pustten und vom Strande des Meeres bis hinauf zu den Gipfeln der Norischen Alpen durchstreifte. Diese botanischen Reisen wurden allmählich auf immer weitere Kreise ausgedehnt und so aus allen Zonen und Weltteilen reichliches Material herbeigeschleppt. In jene Zeit fällt auch die Anlegung von Sammlungen getrockneter Pflanzen, die man zuerst „Hortus vivus“, später „Herbarium“ nannte, und mit denen man alsbald alle naturhistorischen Museen ausstattete.

Bis in die ersten Jahrzehnte des 18. Jahrhunderts hatte sich auf diese Weise eine außerordentliche Menge von Einzelbeobachtungen angesammelt, und schließlich wurde denn doch das Bedürfnis immer dringender, diesen aufgehäuften Wust einmal zu sichten und zu ordnen. Als daher Linné die durch Jahrhunderte angesammelten Einzelarbeiten mit unglaublichem Fleiß und in fabelhaft kurzer Zeit bewältigte und das ganze zerstreute Material überichtlich gruppierete, konnte er der allgemeinsten Anerkennung sicher sein. Linné hatte, an Stelle der schwerfälligsten älteren Bezeichnungen, für die einzelnen Pflanzenarten kurze Namen eingeführt und gelehrt, die Arten oder „Spezies“ durch bündige Beschreibungen zu unterscheiden. Es wurden von ihm zu diesem Behufe die Glieder, in welche die Pflanze auswächst, als Wurzel, Stamm, Laubblatt, Deckblatt, Kelch, Blumenkrone, Staubgefäß, Pistill, Frucht und Same, genau definiert, von diesen Gliedern wieder bestimmte Gestalten, so beispielsweise der Schaft, der Halm, der Stengel, als Formen des Stammes und noch überdies die Teile eines jeden Gliedes, wie z. B. an den sogenannten Staubgefäßen: der Staubfaden, die Anthere und der Blütenstaub, am Pistill: der Fruchtknoten, der Griffel und die Narbe, unterschieden und für jedes dieser Dinge ein lateinischer Kunstausdruck (terminus) festgesetzt. Mit Hilfe der so geschaffenen botanischen Sprache wurde es dann möglich, nicht nur die Beschreibungen der Pflanzenarten kurz zu fassen, sondern auch die ähnlichen Arten nach diesen Beschreibungen wiederzuerkennen und zu „bestimmen“, d. h. anzugeben, welcher Name ihnen von den Botanikern gegeben worden war, und in welche Gruppe sie gehörten.

Als Einteilungsgrund benutzte Linné für das von ihm aufgestellte „System“ die Verhältnisse der Blütenteile. Die Zahl, die relative Länge, die Verwachsung und die Verteilung der Staubgefäße bildeten die Anhaltspunkte zur Unterscheidung der „Klassen“ dieses Systems. In jeder Klasse wurden dann mit Rücksicht auf die Beschaffenheit der Fruchtanlage, zumal der Zahl der Griffel, die „Ordnungen“ unterschieden, und jede Ordnung zerfiel wieder in enger begrenzte Gruppen, die als „Gattungen“ bezeichnet wurden. An die

23 Klassen der Blütenpflanzen (Phanerogamen) reichte Linné dann noch als 24. Klasse die blütenlosen Pflanzen (Kryptogamen), die wieder mit Rücksicht auf den allgemeinen Eindruck, den sie hervorbringen, sowie mit Rücksicht auf ihr Vorkommen in mehrere Gruppen (Farne, Moose, Algen, Pilze) unterschieden wurden.

Diese Methode hatte sich im Fluge die gebildete Welt erobert. Engländer, Deutsche und Italiener arbeiteten jetzt als getreue Schüler Linnés in diesem Sinne. Auch die Laienwelt betrieb mit großem Eifer Botanik im Linnéschen Stile, und man empfahl die Botanik insbesondere auch den Frauen als einen harmlosen, den Geist nicht übermäßig anstrengenden Zeitvertreib. In Frankreich hielt Rousseau einem Kreise schöngeistiger Frauen Vorträge über Botanik, und auch Goethe fühlte sich von der „lieblichsten der Wissenschaften“, wie man damals die Botanik nannte, mächtig angezogen. Einem Werke über Blumenzucht, das den Titel „Flora“ trägt und von dem Italiener G. B. Ferrari 1638 verfaßt ist, hatte man diese Bezeichnung entlehnt und für Pflanzenverzeichnisse größerer oder kleinerer abgegrenzter Gebiete eingeführt (Garten). Es gab um die Mitte des 17. Jahrhunderts eine Menge solcher Verzeichnisse der natürlich vorkommenden blühenden Pflanzen: eine Flora von Preußen, der Mark, von Altdorf, Leipzig, Ulm, von China usw. Irrtümlich wird Linné die Einführung des Namens Flora zugeschrieben; er hat jedoch erst später Floren von Lappland und Schweden geschrieben und damit weiteren Anstoß zur Abfassung solcher Pflanzenverzeichnisse gegeben, so daß schon Ende des 18. Jahrhunderts eine Flora Anglica, Pedemontana, Carniolica, Austriaca usw. vorlagen. Hiermit war denn auch jene Richtung, die in der Betrachtung der fertigen äußeren Gestalt der Pflanzen, in ihrer Unterscheidung, Beschreibung, Benennung und Gruppierung sowie in der Aufzählung der in einem bestimmten Landstriche heimischen Arten ihr einziges leitendes Ziel findet, auf einen gewissen Höhepunkt gelangt. Leider verirrte man sich später vielfach in ein geistloses Schematisieren, begnügte sich mit Sammeln, Präparieren und Anlegen von Herbarien oder erging sich in endlosen Debatten über die Frage, ob irgendeine von diesem oder jenem Forscher entdeckte, unterschiedene und beschriebene Pflanzenform den Rang einer Art beanspruchen dürfe oder als eine durch den Standort oder durch die örtlichen Verhältnisse der Wärme, des Lichtes und der Feuchtigkeit bedingte Varietät zu gelten habe, und gefiel sich darin, hier eine Gruppe von Formen als Varietäten einer „Spezies“ zusammenzufassen, dort die von einem Autor beschriebene Art in mehrere Spezies zu trennen, ohne sich dabei auf die allein maßgebende, durch den Kulturversuch zu ermittelnde Erblichkeit und Unveränderlichkeit oder Unbeständigkeit und Veränderlichkeit der Gestalt zu stützen. Aber man war viel zu besangen in dem von Linné aufgestellten Grundsatz, daß die Arten unveränderlich seien, um mit diesem Spiel einen wissenschaftlichen Gedanken verbinden zu können. So wurde durch diese Methode zwar Ordnung in der Mannigfaltigkeit, aber keine neue Erkenntnis errungen. Die Anordnung der Pflanzen, die bei den verschiedenen Botanikern sehr verschieden ausfiel, nannte man ein „System“, und die ganze klassifizierende Tätigkeit Systematik.

Die gerügten Verirrungen bildeten aber für die Entwicklung dieser Richtung keine nennenswerte Schranke. Der Sammeltrieb, wie er einst Clusius beherrscht hatte, brach sich vielmehr in immer weiteren Kreisen Bahn; die Pflanzenwelt der abgelegensten Teile der Erde wurde von botanischen Reisenden ohne materiellen Vorteil, nicht selten unter den größten Gefahren für die Gesundheit, ja selbst mit Aufopferung des Lebens durchforscht, und immer wieder erstanden in den folgenden Generationen in allen Ländern und in allen

Schichten der Bevölkerung Tausende von Jüngern der „scientia amabilis“, die alle, von einem unwiderstehlichen Drange hingerissen, der Erforschung der heimatischen und fremdländischen Flora oder der minutiösesten Untersuchung der unscheinbarsten Abteilungen des Pflanzenreiches sich widmeten. Wer nicht im Banne solcher Leidenschaft steht, vermag es nicht zu begreifen, welche Seligkeit den erfasst, der ein noch nicht bekanntes Moos zu entdecken das Glück hat, und es ist ihm auch unverständlich, wie der eine der Unterscheidung der Algen oder Flechten, der andere der monographischen Bearbeitung der Brombeeren oder Orchideen die Arbeitskraft seines halben Lebens widmen kann. Welche Ausdehnung diese Richtung im Laufe der Zeiten gewonnen hat, wird am besten ersichtlich, wenn man die Zahl der Arten berücksichtigt, die in den botanischen Werken in verschiedenen Perioden beschrieben wurden. Während Theophrast in seiner „Naturgeschichte der Pflanzen“ etwa 500 Arten erwähnt und Plinius deren wenig mehr als 1000 aufzählt, waren im Zeitalter Linnés nahezu 10000 bekannt geworden, und gegenwärtig dürfte die Zahl 200000 schon überschritten sein, wozu allerdings bemerkt werden muß, daß die Hälfte der seit Linné beschriebenen Gewächse auf Rechnung der Sporenpflanzen kommt, deren Untersuchung erst durch die Verbreitung des Mikroskops in neuerer Zeit ermöglicht wurde. Die Anzahl der Pflanzenarten auf der Erde dürfte, ohne die Pilze, die wenigstens so zahlreich sind wie alle anderen Pflanzen zusammen, die Ziffer 400000 erreichen, so daß man also heute noch nicht die Hälfte aller Arten kennt.

Das Mikroskop hatte auch zu Aufschlüssen über den inneren Bau der Pflanzen geführt. Nach einem bemerkenswerten Anlaufe vor 240 Jahren durch Grew und Malpighi, der freilich alsbald wieder spurlos im Sande verlaufen war, wurde im Anfang unseres Jahrhunderts „der inwendige Bau der Gewächse“ mit um so größerem Eifer an der Hand des Mikroskops studiert. Wie in Gebäuden, welche verschiedenen Stilen angehören, die Formen der einzelnen Flügel, Stockwerke, Gelasse, Erker und Giebel, nicht weniger jene der Säulen, Pilaster und Ornamente verschieden sind, so auch bei den Pflanzen. Da gibt es in mikroskopischer Kleinheit hohe und niedere Gemächer, Gewölbe, Gänge und Kanäle, dicke und dünne Grundschwelle und Strebepfeiler, Bausteine der verschiedensten Größe, Wandungen mit den mannigfachsten Skulpturen, und es war Aufgabe der Pflanzenanatomie, die Gewächse zu zergliedern, alle diese Bildungen unter dem Mikroskop zu ergründen, die so verschieden geformten einfachsten Bausteine sowie den Grund- und Aufriß dieser Pflanzengebäude zu beschreiben und die verschiedenen Formen zu benennen, ähnlich wie es Linné mit den so mannigfaltig gestalteten Stengeln, Laubblättern, Blüten- und Fruchtteilen getan hatte. So entstand nach Linnés Ableben eine ganz neue Wissenschaft, die Pflanzenanatomie.

Die Metamorphosenlehren und die Morphologie.

Neben dem in kaum zu überschender Breite dahinfließenden Strome der Forschung, dessen Ziel vorwiegend die Unterscheidung, Beschreibung und übersichtliche Einteilung der mannigfaltigen fertigen Pflanzenformen war, hatte sich schon vor drei Jahrhunderten, obwohl anfangs sehr unvollkommen, eine neue Richtung angebahnt, welche die Gestalten in ihrem Werden betrachtet, sie auf ihren Ursprung zurückzuführen sucht, die unendliche Menge von Pflanzenarten, den Reichtum von Laub- und Blütenformen und die Fülle von

Zell- und Gewebebildungen in ihrer Entwicklung von Stufe zu Stufe verfolgt und sich bemüht, aus der Vielheit die Einheit herauszufinden, den Zusammenhang der auseinander hervorgegangenen Gestalten als einen gesetzmäßigen darzustellen und diese Gesetze in bestimmter Sprachform zum Ausdruck zu bringen.

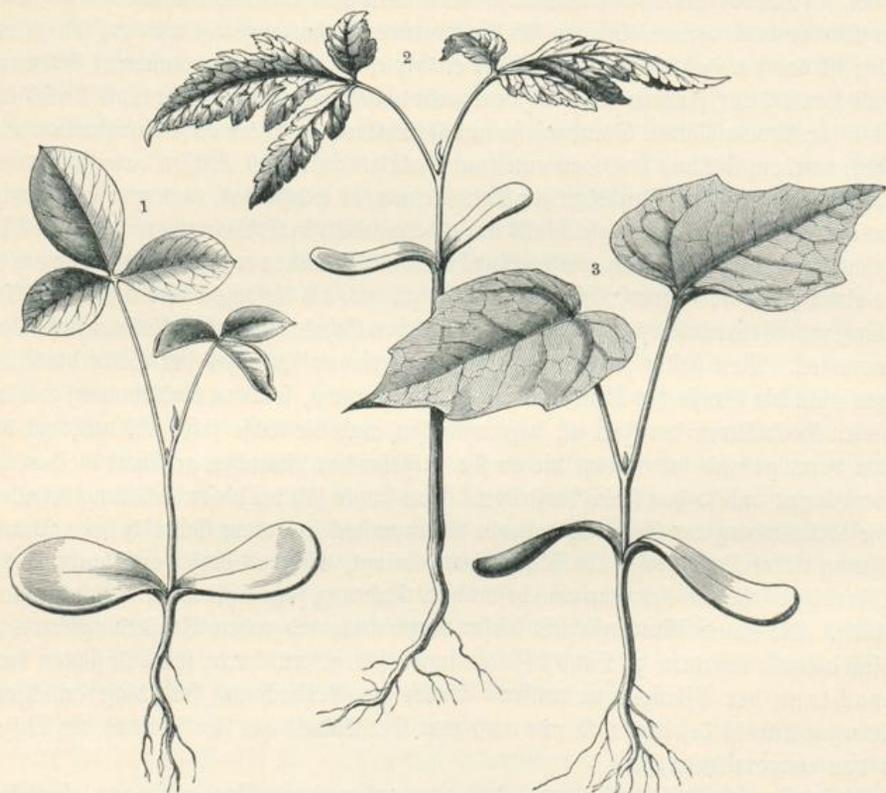
Zunächst wendete sich hierbei die Aufmerksamkeit der Botaniker dem Wechsel der Blattgestalt zu, jenem fesselnden Vorgange, der sich an allen Samenpflanzen abspielt, wenn aus dem schwachen Keim allmählich ein blüthentragender Sproß wird. Dies Interesse ist begreiflich, denn die Blätter sind im allgemeinen die bezeichnendsten Organe der Pflanze und fallen als solche ins Auge. In einer Stufenfolge entstehen am Umfange des Stengels, der als Tragachse dient, Blattbildungen, wesentlich immer dieselben, aber doch fort und fort in ihrer Gestalt wechselnd, in ihrem Zuschnitt, ihrem Maß und ihrer Färbung sich ändernd, je nachdem sie an höher oder tiefer gelegenen Punkten der Achse stehen. Die Ursachen dieser Gestaltänderung klarzulegen, war ein anziehendes Problem, dessen Lösung durch sehr verschiedene Theorien angestrebt wurde. Nach der ältesten Erklärung, welche, von dem Italiener Cesalpini gegen Ende des 16. Jahrhunderts gegeben, sich weit weniger auf sorgfältige Beobachtung als auf flüchtiges Vergleichen und entfernte Ähnlichkeit der Gewebe stützt, wäre der Stengel zusammengesetzt aus einem lebensvollen zentralen Mark, das von den konzentrisch geschichteten Gewebezonen des Holzes, des Bastes und der Rinde mantelförmig umgeben wird. Jede der aus der Achse entstandenen Blattformen hat nun nach dieser Theorie ihren Ursprung in einem der genannten Gewebe, und zwar so, daß aus der Rindenschicht das grüne Laub und der grüne Kelch, aus der Bastichicht die buntgefärbte Blumenkrone, aus der Holzschicht die Staubgefäße und aus dem Mark die Fruchtknoten herauswachsen sollen. Auch die äußere Hülle einer Frucht dachte man sich aus der Rindenschicht des Fruchts Stiels, die Samenschale aus dem Holz und das Innere des Samens aus dem Mark hervorgegangen. Das alles war aber nur ein aus aristotelischer Philosophie geschöpftes Gedankenspiel, das, durch keine Beobachtung bestätigt, vollständig falsch war. Immerhin war es ein Anfang, daß man sich doch die Frage stellte: wie entstehen denn eigentlich die Blätter und Blüten an einer Pflanze.

Diese Frage durch mikroskopische Beobachtung zu lösen, hatte der bedeutende Anatom Kaspar Friedrich Wolff 1759 mit Erfolg unternommen, aber da er kein Botaniker war, beachtete man seine Untersuchungen nicht. Am wenigsten tat das Linné, der von mikroskopischen Untersuchungen nichts verstand und nichts wissen wollte. Er, der in allen botanischen Fragen als höchste Autorität galt, hatte sich der Theorie Cesalpini's angeschlossen, und da er in der angeblichen Entstehung der eigentlichen Blüthen Teile aus den inneren Stengelgeweben eine Ähnlichkeit mit dem Hervorkommen eines Insektes aus seiner Puppenhülle erblickte, übertrug er den hier üblichen Ausdruck Metamorphose auf die Pflanzen und lehrte, die Blüte sei eine Metamorphose aus den Stengelgeweben. Er verband mit dieser unrichtigen Ansicht noch eine zweite Hypothese. Diese nannte er Prolepsis und sie sollte erklären, welche Ursachen die Umwandlung der Stengelgewebe zur Blüte zustande brächten. Linné dachte sich, daß das Mark des Stengels an bestimmten Stellen die Rinde durchbräche, um dort eine Knospe zu bilden, welche später zu einem Seitenzweige auswächst. Durch dieses seitliche Vordrängen des Markes werde der aufsteigende Nahrungsfaß unter der angelegten Knospe gestaut, und infolge dieser Stauung wachse die Rinde unterhalb der Knospe zu einem Laubblatte aus. Das war freilich eine ganz willkürliche, falsche Annahme, denn

die Knospen entstehen nicht aus dem Mark, sondern als äußerliche Auswüchse des Stengelendes, in den Winkeln der Blattanlagen. Linné philosophierte weiter: In der Knospe sind die Teile der künftigen Jahrestriebe schon angelegt und bilden dort übereinanderstehende Stufen, von welchen jede höhere immer von der tieferen erzeugt wird. Mit beginnender Vegetationstätigkeit nach Ablauf der Winterruhe wächst die Knospe aus. Kommt nur jener Teil der Knospe zur Entwicklung, der in ihr die Anlage für das erste Jahr bildet, so entsteht ein mit Laubblättern besetzter Sproß. Es können aber auch die, nach Linnés Meinung, in der Knospe verborgenen Anlagen für die folgenden Jahre angeregt werden, sich zu entwickeln; ist das der Fall, so erscheinen diese antizipierten (vorweggenommenen) Bildungen nicht als Laubblätter, sondern in ihrer Form mehr oder weniger verändert, als Deckblätter, Kelchblätter, Kronenblätter, Staubgefäße und Fruchtknoten. Wäre diese Antizipation nicht angeregt worden, so käme das, was nun zum Deckblatt auswächst, erst im darauffolgenden, d. h. im zweiten Jahr als Laubblatt zur Entwicklung, es würde das, was zum Kelche wird, erst im dritten Jahr, und zwar gleichfalls nur als Laubblatt in Erscheinung treten usw. Diese Umgestaltung der Blätter oder, wie es Linné nennt, diese Metamorphose ist demnach die Folge einer „Prolepsis“ (verfrühten Entwicklung), und als Ursache dieser verfrühten Entwicklung und Metamorphose wird von der Linnéschen Schule eine lokale Nahrungsabnahme angenommen. Man stellte sich vor, daß infolge geringen Zuflusses der Säfte die Blattanlagen nicht die Größe der Laubblätter erreichen könnten, sondern verkümmern, wie das bei vielen Deckblättern der Fall ist, daß weiterhin auch die Achse sich nicht mehr zu verlängern vermöge und demzufolge die an ihr entstehenden Blättchen genähert bleiben, zusammenhängen und so den Kelch darstellen. Man stützte sich bei dieser Erklärung besonders auf die Behauptung der Gärtner, daß ein Pflanzenstock in gutem Erdreich bei reichlicher Ernährung lieber Laubspresse als Blüten hervorbringt, während derselbe Pflanzenstock in ein Erdreich versetzt, wo ihm nur eine beschränkte Nahrung zugeführt wird, reichlich Blüten entwickelt. Die ganze Wunderlichkeit dieser verzwickten und rohen Vorstellungsweise erklärt sich daraus, daß man zu Linnés Zeiten noch nicht gelernt hatte, seine Ansichten durch Beobachtung der Pflanzen zu prüfen. Durch die Beobachtung sind diese erdichteten Erklärungen Linnés beseitigt und nur noch zum Verständnis des Fortschrittes der Wissenschaft von einigem Interesse.

Dieser Fortschritt bestand darin, daß eine andere, aus Beobachtungen abgeleitete Hypothese über die Entstehung der Blüte aufgestellt wurde, deren spätere Bestätigung und allgemeine Annahme in der Botanik um so mehr hervorzuheben ist, als sie nicht von einem Botaniker, sondern von Goethe herrührt. Goethe behielt den von Linné aus der älteren Literatur entnommenen Ausdruck „Metamorphose“ bei, gab aber eine von Linné vollständig abweichende Erläuterung der Entstehung der Blüte, die er in einer vielbesprochenen und durch die Anregung zu ähnlichen Studien bedeutungsvoll gewordenen Schrift „Versuch, die Metamorphose der Pflanzen zu erklären“ 1790 darlegte. Goethes Erklärung der Metamorphose läßt sich kurz in folgender Weise wiedergeben. Die Pflanze baut sich stufenweise aus Internodien (Stengelgliedern) auf, die als Seitenorgane die Blätter erzeugen, die von den Knoten eines Stengels ausgehen. Zuerst entwickeln sich an der aus dem Samen aufkeimenden jungen Pflanze, von dem untersten Stengelknoten ausgehend und häufig unter der Erde, jene Organe, die man Samenlappen oder Kothyledonen genannt hat (s. Abbildung, S. 12). Sie sind von verhältnismäßig geringem Umfang, einfach, gewöhnlich

ohne Spur von Einschnitten, erscheinen zuweilen als weißliche, dickliche Lappen, die, wie sich Goethe ausdrückt, mit einer rohen Materie gleichsam vollgestopft und nur grob organisiert sind. Goethe deutet diese Kotyledonen als die ersten, in der Entwicklungsreihe auf der tiefsten Stufe stehenden Blätter. Nach ihnen und über ihnen entwickeln sich an den folgenden Knoten des Stengels die Laubblätter; sie sind ausgedehnter, länger und breiter, oft am Rand eingekerbt, in Zipfel gespalten oder auch aus Teilblättchen zusammengesetzt



Keimende Pflanzen mit Kotyledonen und Laubblättern: 1 Goldbrogel (*Cytisus Laburnum*), 2 Köfrenterie (*Koelreuteria paniculata*), 3 Spitzahorn (*Acer platanoides*).

und grün gefärbt (s. die Abbildungen auf dieser und der folgenden Seite). „Sie stehen auf einer höheren Stufe der Ausbildung und Verfeinerung, welche sie dem Licht und der Luft schuldig sind.“ Noch weiter aufwärts erscheint dann die dritte Entwicklungsstufe des Blattes. Das, was Linné den Kelch nennt, ist jedoch auf das Blatt zurückzuführen; es ist eine Umbildung dieses Grundorgans. Diese zusammengedrängten Blätter, die gewissermaßen im dritten Stockwerk des ganzen Pflanzengebäudes von den Stengelknoten ausgehen und dort den Kelch bilden, sind im Vergleiche zu den gut ausgebildeten Laubblättern kurz, zusammengezogen und wenig mannigfaltig (Abb. 4 auf S. 13). Auf der vierten Sprosse der Leiter, auf der das Blatt gewissermaßen in seinem Streben, sich zu vervollkommen, emporsteigt, erscheint das, was die Linnésche Terminologie die Korolle oder Blumenkrone nennt. Die Blumenkrone besteht, wie der Kelch, wieder nur aus mehreren um einen

Mittelpunkt gruppierten Blättern (Abb. 5). Hat im Kelch eine Zusammenziehung stattgefunden, so findet jetzt wieder eine Ausdehnung statt. Die Blätter der Krone sind nämlich



Blattmetamorphosen, an Pflanze dargestellt: 1 keimende Pflanze mit Keimblättern, 2 und 3 dieselbe Pflanze weiter entwickelt mit Laubblättern, 4 die Keimblätter und untersten Laubblätter bereits verwelkt; 5 dieselbe Pflanze mit einer Blütenknospe, an welcher die zusammenschließenden Kelchblätter sichtbar sind, 6 die Blüte geöffnet, Krallenblätter, Staubgefäße und Fruchtblätter (Pistill) entwickelt. (Zu S. 12—14.)

im allgemeinen umfangreicher als jene des Kelches, sie sind überdies zarter, feiner, prangen in bunten Farben, und Goethe, dessen Ausdrucksweise hier soweit wie möglich festgehalten

ist, denkt sich dieselben auch mit feineren, reineren Säften erfüllt. Er stellt sich vor, daß diese Säfte in den tiefer stehenden Blättern und in den Gefäßen der tieferen Region des Stengels gewissermaßen filtriert werden und dadurch mehr und mehr vervollkommenet in die oberen Stockwerke gelangen; auch meint er, ein feinerer Saft müsse dann auch ein feineres, zarteres Gewebe bedingen. Über der Korolle folgt nun auf der fünften Sprosse der Stufenleiter die Gruppe der Staubgefäße, Gebilde, die zwar der gewöhnlichen Vorstellung eines Blattes nicht entsprechen, aber doch wieder nur als Blätter zu deuten sind. Im Bereich der Blumenkrone waren die Blätter ausgebreitet und durch ihren Farbenreiz in die Augen fallend, in den Staubgefäßen erscheinen sie auf das äußerste zusammengezogen, zum Teil fast fadenförmig, in einem höchst verfeinerten Zustand; und in jenen Teilen dieser Staubgefäße, die man die Antheren nennt, entwickeln sich die „Staubkügelchen“, in denen „ein höchst feiner Saft aufbewahrt ist“. An diese den Blütenstaub oder Pollen erzeugenden Blätter, in welchen die Zusammenziehung den äußersten Grad erreicht hat, schließt sich endlich das sechste Stockwerk, aus breiter angelegten Blättern gebildet, in denen das Blatt zum letztenmal eine Ausdehnung erfährt. Es sind die Fruchtblätter, die um den obersten Teil des Stengels zusammenschließen und die Samen umhüllen, welche sich innerhalb des Fruchthäufes herausbilden.

So verschieden nun auch die Stengelblätter und Blütenteile erscheinen mögen, so sind sie nach Goethes Ansicht doch alle wesentlich dasselbe, nämlich Blätter. Goethe konnte seine Metamorphosenansicht nur auf Umwegen beweisen, denn der gebotene Weg mikroskopischer Beobachtung, den R. F. Wolff schon eingeschlagen hatte, war ihm nicht geläufig genug. Er benutzte zur vorläufigen Begründung seiner Hypothese den Hinweis auf gefüllte Blüten, in denen man, z. B. bei Rosen, Päonien usw., oft Übergänge von Staubblättern in Blumenblätter findet. Auch auf andere Übergangsformen wies er hin und bildete sie ab. Z. B. findet man zuweilen bei Tulpen Übergänge von grünen Laubblättern zu bunten Kronenblättern. Goethe hat auch Fälle abgebildet, wo ein Blatt halb Laubblatt, halb Kronenblatt ist und die Teile sich beim Wachstum durch Zerreißen trennen (vgl. die beigeheftete Tafel, die aus Goethes Nachlaß stammt). Später aber wurde, an Wolffs Untersuchungen anknüpfend, bestätigt, daß in der Tat Laubblätter und Blütenteile aus gleichen Anlagen entstehen, also sämtlich „Blätter“ genannt werden müssen.

Indem Goethe auf diese Weise die Metamorphose der Blüte auffaßte und klarer als alle seine Vorgänger und Zeitgenossen „die mannigfaltigen besonderen Erscheinungen des herrlichen Weltgartens auf ein allgemeines einfaches Prinzip zurückzuführen“ bemüht war, gelangte er in späteren Untersuchungen, die sich auch auf die anderen Vegetationsorgane außer den Laubblättern erstreckten, zu einer allgemeinen Anschauung über die Metamorphose, die heute die Grundlage der Pflanzenmorphologie bildet. Diese Ansicht geht dahin, daß der Pflanzenembryo im Gegensatz zum tierischen nicht alle späteren Organe der Pflanze bildet, sondern nur die wenigen Grundorgane: Wurzel, Stengel und Blätter, erzeugt. Alle anderen Organe, deren die Pflanze später bedarf, z. B. Ranken, Dornen, Zwiebeln, Rhizome, Knollen, Blüten, entstehen durch Umwandlung (Metamorphose) der Grundorgane. Überall bestätigt die Beobachtung der Pflanzenentwicklung diese Anschauung, so daß die Metamorphose heute keine Hypothese, sondern eine Tatsache ist.

Während für Linné und seine Schule die Formverhältnisse der Pflanzen nur für den praktischen Zweck ihrer Einteilungen von Interesse waren, hatte die auf Erkenntnis der



Umbildung (Metamorphose) von Laubblättern der Tulpe zu Blumenblättern.

Nach Harten, Goethes Metamorphose der Pflanze (Stieglitz 1807).

Am Stengel stehen unterhalb der Blüte blumenblattähnlich gewordene Laubblätter. Bei Fig. 1 und 2 sind die Blumenkronen der Tulpe und die Staubfäden abgetrennt.
In Fig. 3 und 4 ist das obere Stengelblatt halb Blumenblatt, halb Laubblatt und trennt sich beim Wachsen des Stengels in zwei Hälften.

ist, denkt sich dieselben auch mit feineren, reineren Säften erfüllt. Er stellt sich vor, daß diese Säfte in den tiefer stehenden Blättern und in den Gefäßen der tieferen Region des Stengels gewissermaßen filtriert werden und dadurch mehr und mehr vervollkommenet in die oberen Stockwerke gelangen; auch meint er, ein feinerer Saft müsse dann auch ein feineres, zarteres Gewebe bedingen. Über der Korolle folgt nun auf der fünften Sprosse der Stufenleiter die Gruppe der Staubgefäße, Gebilde, die zwar der gewöhnlichen Vorstellung eines Blattes nicht entsprechen, aber doch wieder nur als Blätter zu deuten sind. Im Bereich der Blumenkrone waren die Blätter ausgebreitet und durch ihren Farbenreiz in die Augen fallend, in den Staubgefäßen erscheinen sie auf das äußerste zusammengezogen, zum Teil fast fadenförmig, in einem höchst verfeinerten Zustand; und in jenen Teilen dieser Staubgefäße, die man die Antheren nennt, entwickeln sich die „Staubkugeln“, in denen „ein höchst feiner Saft aufbewahrt ist“. An diese den Blütenstaub oder Pollen erzeugenden Blätter, in welchen die Zusammenziehung den äußersten Grad erreicht hat, schließt sich endlich das sechste Stockwerk, aus breiter angelegten Blättern gebildet, in denen das Blatt zum letztenmal eine Ausdehnung erfährt. Es sind die Fruchtblätter, die um den obersten Teil des Stengels zusammenschließen und die Samen umhüllen, welche sich innerhalb des Fruchthäuses herausbilden.

So verschieden nun auch die Stengelblätter und Blütenteile erscheinen mögen, so sind sie nach Goethes Ansicht doch alle wesentlich dasselbe, nämlich Blätter. Goethe konnte seine Metamorphosenansicht nur auf Umwegen beweisen, denn der gebotene Weg mikroskopischer Beobachtung, den N. J. Wolff schon eingeschlagen hatte, war ihm nicht geläufig genug. Er benutzte zur vorläufigen Begründung seiner Hypothese den Hinweis auf gefüllte Blüten, in denen man, z. B. bei Rosen, Päonien usw., oft Übergänge von Staubblättern in Blumenblätter findet. Auch auf andere Übergangsformen wies er hin und bildete sie ab. Z. B. findet man zuweilen bei Tulpen Übergänge von grünen Laubblättern zu bunten Kronenblättern. Goethe hat auch Fälle abgebildet, wo ein Blatt halb Laubblatt, halb Kronenblatt ist und die Teile sich beim Wachstum durch Zerreißen trennen (vgl. die beigeheftete Tafel, die aus Goethes Nachlaß stammt). Später aber wurde, an Wolffs Untersuchungen anknüpfend, bestätigt, daß in der Tat Laubblätter und Blütenteile aus gleichen Anlagen entstehen, also sämtlich „Blätter“ genannt werden müssen.

Indem Goethe auf diese Weise die Metamorphose der Blüte auffaßte und klarer als alle seine Vorgänger und Zeitgenossen „die mannigfaltigen besonderen Erscheinungen des herrlichen Weltgartens auf ein allgemeines einfaches Prinzip zurückzuführen“ bemüht war, gelangte er in späteren Untersuchungen, die sich auch auf die anderen Vegetationsorgane außer den Laubblättern erstreckten, zu einer allgemeinen Anschauung über die Metamorphose, die heute die Grundlage der Pflanzenmorphologie bildet. Diese Ansicht geht dahin, daß der Pflanzenembryo im Gegensatz zum tierischen nicht alle späteren Organe der Pflanze bildet, sondern nur die wenigen Grundorgane: Wurzel, Stengel und Blätter, erzeugt. Alle anderen Organe, deren die Pflanze später bedarf, z. B. Ranken, Dornen, Zwiebeln, Rhizome, Knollen, Blüten, entstehen durch Umwandlung (Metamorphose) der Grundorgane. Überall bestätigt die Beobachtung der Pflanzenentwicklung diese Anschauung, so daß die Metamorphose heute keine Hypothese, sondern eine Tatsache ist.

Während für Linné und seine Schule die Formverhältnisse der Pflanzen nur für den praktischen Zweck ihrer Einteilungen von Interesse waren, hatte die auf Erkenntnis der



Umbildung (Metamorphose) von Laubblättern der Tulpe zu Blumenblättern.

Aus Hantzen, Goethes Metamorphose der Pflanze (Gießen 1907).

Am Stengel stehen unterhalb der Blüte blumenblattähnlich gewordene Laubblätter. Bei Fig. 1 und 2 sind die Blumenkrone der Tulpe und die Staubhäden abgetrennt.
In Fig. 3 und 4 ist das obere Stengelblatt halb Blumenblatt, halb Laubblatt und trennt sich beim Wachsen des Stengels in zwei Hälften.

Eigenart der Pflanzen gerichteten Metamorphosenidee den Blick für merkwürdige Übereinstimmungen im Aufbau der vollendeten Pflanze geschärft. Goethe wies darauf hin, daß die bloße Trennung der Teile und ihre Benennung (Terminologie) nicht genüge. Man müsse die lebendigen Bildungen als Ganzes, ihre äußeren sichtbaren Teile im Zusammenhange erfassen und als Andeutungen des Inneren erkennen und so das Ganze in der Anschauung beherrschen. Diese Art der Betrachtung nannte er Morphologie, ein Wort, das allgemeine Annahme in der Naturgeschichte gefunden hat. In der Botanik wurde, nicht ohne Anschluß an Goethe, diese Morphologie von Robert Brown, De Candolle und Alex. Braun als neuer Zweig begründet. Anstatt der öden lateinischen Terminologie begann eine formale Betrachtung der ganzen Pflanzengestalt, die über die Stellung der Blätter und Knospen, Richtung der Zweige, Formen der Blüten und Blattgebilde einfache Regeln auf Grund sorgfältiger Vergleiche aufstellte. Man lernte die verschiedensten Pflanzenformen auf allgemeine Grundformen zurückzuführen und so in die verwickeltesten Gestalten hineinzublicken. Was an der Hand der Linnéschen Terminologie als eine unübersehbare Masse erschienen war, wurde durch die Kunst der morphologischen Beschreibung zu einer Architektur der Pflanze, die um so anziehender war, als ihre biologische Bedeutung, d. h. ihre Übereinstimmung mit der lebendigen Betätigung der Pflanzen, mehr und mehr hervortrat. Das war eine so ganz andere Botanik als die Linnésche Pflanzenregistratur, daß sich die Mehrzahl bedeutenderer Geister naturgemäß dieser Richtung zuwandte.

Die entwicklungsgeschichtliche Methode.

Die Metamorphosenlehre Goethes, obwohl in ihrer Beweisführung unvollkommen und wesentlich Hypothese, wurde doch bedeutungsvoll, indem ihre Prüfung zur Methode der Beobachtung unweigerlich hindrängte. So wurde sie im engen Anschluß an die neubegründete Morphologie zur Quelle jener entwicklungsgeschichtlichen Richtung, die etwa seit dem Jahre 1840 auf alle Zweigdisziplinen der Botanik befruchtend eingewirkt hat. Man gelangte zu der Überzeugung, daß jede lebende Pflanze eine stetige Umgestaltung erfährt, die in einer bestimmten Reihenfolge vor sich geht, daß sich also jede Art wie nach einem in den allgemeinen Umrissen festgestellten Plan aufbaut und nur in Außerlichkeiten Abweichungen zeigt, die freilich bei flüchtiger Betrachtung oft weit mehr in die Augen fallen als die Richtung und Lage jener Teile, welche, Grundmauern gleich, die unverrückbare Stütze des ganzen Bauwerkes bilden. Um aber den Bauplan zu ermitteln, war es notwendig, zurückzugehen bis auf das erste Sichtbarwerden eines jeden Gliedes des Pflanzenkörpers, um festzustellen, wie sich die ersten Anlagen des Embryos, wie sich die Anfänge der Wurzeln, des Stengels, des Laubes und der Blütenteile bilden und ausgestalten, ob sie sich mächtig ausbreiten, spalten und teilen, oder ob sie zurückbleiben, verkümmern und von anderen Gliedern der Pflanze beeinflusst, verdrängt und unterdrückt werden.

Diese entwicklungsgeschichtlichen, mit Hilfe des Mikroskops angestellten Untersuchungen der einzelnen Teile der Blütenpflanzen und noch mehr die durch die Verbollkommnung des Mikroskops ermöglichten Beobachtungen der Entwicklung der Kryptogamen oder Sporenpflanzen führten aber naturgemäß auch zur Entwicklungsgeschichte der elementaren Gebilde, aus denen sich alle Gewächse aufbauen. Man hatte früher dreierlei

Elementarorgane: Bläschen, Gefäße und Fasern, angenommen. Die Beobachtungen von R. Brown und Mohl führten aber dahin, daß die gemeinsame Grundlage dieser Elementarorgane die Zelle sei; sie führten auch zu der Entdeckung des Protoplasmas, als des bildenden, lebendigen Teiles der Zelle, und zu dem Resultat, daß sich jede Zelle in den protoplasmatischen Zellenleib (Protoplast) und in die Zellhaut sondert, sowie daß die Hülle des Protoplasmas, die Zellhaut, die man früher als die ursprüngliche Bildung auffaßte, das Produkt des Protoplasmas sei, d. h. von diesem ausgeschieden werde, eine Entdeckung, welche eine vollständige Umwandlung in der Auffassung der Zellen überhaupt im Gefolge hatte. Die weiteren Untersuchungen führten auch zu dem Ergebnisse, daß die Art und Weise, wie die Zellen wachsen, und wie sie sich vermehren, nach bestimmten Regeln stattfindet, und daß bei den Vorgängen des Aneinanderreichens der durch Vermehrung entstandenen Tochterzellen bestimmte Regeln zu erkennen sind. Die in dieser Richtung im Verlaufe weniger Jahrzehnte gewonnenen Ergebnisse sind außerordentlich groß. Ihre Fülle ist aus dem fesselnden Reiz zu erklären, den das Verfolgen des Werdens und Umgestaltens lebendiger Gebilde, die Beobachtung geheimnisvoller Vorgänge, welche dem unbewaffneten Auge gänzlich verschlossen sind, auf jeden Beobachter ausübt.

Besonders im Bereiche jener Gewächse, welche die älteren Botaniker unter dem Namen Kryptogamen zusammenfaßten, erschloß sich eine neue Welt. Die Vorgänge der Fortpflanzung und Verjüngung dieser Pflanzenformen durch Keimzellen oder Sporen wurden in einer ungeahnten Mannigfaltigkeit aufgedeckt; Dinge, die man früher mit Rücksicht auf ihre äußere Form ganz verschiedenen Gruppen zuzählte, stellten sich als zusammengehörig, als Entwicklungsstufen einer und derselben Art dar, und es ergab sich als Folge dieser Entdeckungen eine auf die Entwicklungsgeschichte begründete, ganz neue, systematische Gruppierung in dieser Abteilung des Gewächsreiches. Aber auch die systematische Gruppierung der Blütenpflanzen oder Phanerogamen erfuhr eine wesentliche Umgestaltung. Das auf die Zahlenverhältnisse der Blütenteile gestützte Linnésche System war allerdings schon früher durch eine andere Einteilung ersetzt worden, und zwar von den Franzosen Jussieu und De Candolle, welche Systeme aufstellten, die man dem künstlichen Linnéschen System als natürliche gegenüberstellte. Freilich waren auch diese Systeme nicht gänzlich frei von „künstlichen“ Einteilungsprinzipien. Die Haupteinteilung der Blütenpflanzen in solche, die mit einem Keimblatt oder Kothyledon keimen (Monokotyledonen), und jene, deren Keimling zwei Kothyledonen trägt (Dikotyledonen), konnte als Anlauf zu einem auf die Entwicklungsgeschichte basierten System gelten; aber schon die Gruppierung der Dikotyledonen in solche, deren Blüten der Korolle entbehren (Apetalen), solche, die eine aus verwachsenen Blättern oder Petalen gebildete Korolle haben (Monopetalen), und solche, welche eine Korolle aus nicht verwachsenen Blättern besitzen (Dialypetalen), war jedenfalls gezwungen und nur auf äußerliche Merkmale gegründet.

Das heutige System, welches der Ausfluß der Entwicklungsgeschichte ist, geht nun von dem Gesichtspunkt aus, daß die Ähnlichkeit der fertigen Gestalten für deren Zusammengehörigkeit nicht immer entscheidet, und daß die Verwandtschaft der Pflanzenformen viel sicherer aus den gleichen Gesetzen des Werdens, besonders aus den gleichen Vorgängen bei der Fortpflanzung erkannt wird. Gewächse, die im fertigen Zustand eine sehr abweichende äußere Gestalt haben, sind doch als nahe verwandt und als Angehörige desselben Stammes anzusehen, wenn sie nach ähnlichen Formgesetzen sich aufbauen, und

umgekehrt. Daß ein auf diese Grundsätze gestütztes System einen wesentlichen Fortschritt bedeutet, wird niemand in Abrede stellen; andererseits läßt sich aber auch nicht verkennen, daß es großen Schwierigkeiten unterliegt, aus den vielen Erscheinungen, die im Verlaufe der Entwicklung einer Pflanze beobachtet werden, die richtige Auswahl zu treffen und festzustellen, was von diesen Erscheinungen auf Rechnung der einer größeren Anzahl von Pflanzen gemeinsamen Formeigenschaften zu bringen und daher als Stammeseigentümlichkeit aufzufassen ist, und was nur als Ausdruck der Lebensbedingungen, die auf das Werden der untersuchten Pflanze Einfluß nehmen, zu gelten hat. Man hat, mit anderen Worten, beständige Stammesmerkmale und unbeständige Anpassungsmerkmale streng zu unterscheiden. Allgemeine Anerkennung erlangte das System von A. Engler.

Die Ziele der Forschung in der Gegenwart.

Die beschreibenden Botaniker kümmern sich nur um die fertige Form der Pflanze, die vergleichende spekulative Gestaltlehre sucht die so mannigfaltig ausgebildeten Pflanzenformen auf einfache Urbilder zurückzuführen, die Entwicklungsgeschichte berücksichtigt das Werden der Gestalten; aber alle diese Richtungen sind der Frage nach der Bedeutung der Gestalten für das Leben der Pflanze ferngeblieben.

Die ersten Versuche zur Erklärung der Bedeutung der einzelnen Teile für das Leben der Gewächse können allerdings bis auf Aristoteles und dessen Schule zurückgeführt werden; die Vorstellungen aber, welche sich jene Zeit von dem Pflanzenleben machte, sind doch nicht viel mehr als phantastische Träume, und die Anerkennung, die man ihnen entgegenbringt, ist wohl mehr durch die Pietät für das Alte als durch den wirklichen Wert dieser Erklärungsversuche begründet. Aber auch die von Linné gemachten Versuche, die Bedeutung der Pflanzenorgane bloß durch Vergleich mit den Organen der Tiere zu erkennen, waren völlig verfehlt. Was die Organe bedeuteten, lernte man erst durch das Studium ihrer Leistungen kennen, welche einen ganz ungeahnten Einblick in die Übereinstimmung dieser Leistungen mit ihrer Form verschaffte. Daraus floß die Notwendigkeit, sich von der einseitigen Betrachtung der Form loszusagen, und die von der Physiologie und Entwicklungsgeschichte befruchtete Morphologie wurde zur Organographie. Hier hat Karl Goebel kritisch beobachtend und in systematischer Darstellung Hervorragendes geleistet. Auch die Forschungsrichtung, welche das Leben der Pflanze als eine Reihe physikalischer und chemischer Vorgänge auffaßt und die Gestalten der Gewächse aus ihren Beziehungen zur Außenwelt zu erklären versucht, konnte sich mit einiger Aussicht auf Erfolg erst zu einer Zeit entwickeln, in der Physik, Chemie und andere verwandte Wissenschaften einen hohen Grad der Ausbildung erfahren hatten, und nachdem man zur Überzeugung gelangt war, daß auch die Erscheinungen des Lebens nur an der Hand des Experiments ergründet werden können. Auf das Experiment gestützte Untersuchungen von Lebenserscheinungen der Pflanzen wurden erst Mitte und Ende des 18. Jahrhunderts von Hales, Ingenhousz und ganz wenigen anderen ausgeführt; so recht in Fluß kam diese Forschungsrichtung, die jede Zelle als ein kleines chemisches Laboratorium auffaßt, die Ernährung, die Saftströmung, das Wachstum, die Bewegungserscheinungen, kurz alle Lebensvorgänge mechanisch zu erklären und die Gestalt mit diesen Vorgängen in ursächlichen Zusammenhang zu bringen

sucht, eigentlich nicht vor der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts. Das war die Zeit der Begründung der Pflanzenphysiologie, der Lehre von den Lebenserscheinungen. In erster Linie ist hier der Name Julius Sachs zu nennen, der sich durch sein „Handbuch der Experimentalphysiologie“, durch die Gründung des physiologischen Instituts in Würzburg, das allen anderen zum Vorbild gedient hat, und durch seine ausgezeichneten experimentellen Arbeiten ein bleibendes Andenken erworben hat. Bemerkenswert ist die Änderung der Reihenfolge der wissenschaftlichen Aufgaben. Während von der beschreibenden, der spekulativen und der entwicklungsgeschichtlichen Richtung zuerst die ganze Pflanze, dann deren einzelne Glieder und schließlich die Zellen und das Protoplasma erforscht wurden, erfaßte man auf dem neuen Forschungsgebiete zuerst die Lebensgeschichte der Elementarorgane, dann die Bedeutung, welche die Gestalt der einzelnen Glieder der Pflanze für das Leben hat, und endlich die Erscheinungen, in denen das Leben zutage tritt.

Die moderne Forschung, beherrscht von dem Wunsche, die Ursachen aller Erscheinungen klarzulegen, begnügt sich nicht mehr mit der Kenntnis des Werdens der Zellen, der Anordnung verschieden gestalteter Zellformen, der Ausbildung ihrer Inhaltkörper, der Veränderungen, welche die Zellhaut erfährt, sondern wir fragen heute: Welche Aufgabe kommt den verschiedenen Körpern zu, die sich in dem Protoplasma ausbilden? Warum verdickt sich die Zellhaut hier gerade so und nicht anders? Welche Bedeutung haben alle diese so abweichend gestalteten engen und weiten Röhren und Kanäle? Welche Rolle spielen die eigentümlichen Verdickungen dieser Kanäle, und warum sind alle Einrichtungen bei den verschiedenen Pflanzen unter geänderten äußeren Verhältnissen so mannigfaltig verteilt und gestaltet? Wir begnügen uns nicht mehr, festzustellen, daß die Anlage eines Pflanzengliedes heranwächst, sich hier mächtig ausbreitet und vielfach gestaltet oder aber zurückbleibt und verkümmert, sondern wir fragen, warum hier die eine Anlage sich entwickelt, die andere unterdrückt wird. Nichts ist da für unsere Neugierde ohne Bedeutung, weder die Richtung, Dike und Gestalt der Wurzeln noch der Umriß, die Berippung und die Lage der Laubblätter, weder der Bau und die Farbe der Blumen noch die Form der Früchte und Samen; und wir setzen voraus, daß selbst jeder Stachel, jede Borste und jedes Haar eine besondere Aufgabe zu erfüllen habe. Aber auch die Beziehungen der abweichend ausgebildeten Organe ein und desselben Pflanzenstodes zueinander und nicht weniger die gegenseitigen Beziehungen gesellig wachsender Pflanzenarten sucht man zu erklären. Schließlich drängt diese letzte Forschungsrichtung, die in rascher Aufschwung gebracht zu haben das große Verdienst Darwins ist, auch zur Lösung der Frage nach dem letzten Grunde der Verschiedenheiten der Gestalten, der wohl in der Verschiedenheit des Protoplasmas gesucht werden kann, aber auch von den äußeren Bedingungen abhängig ist. Sie erklärt aus der Konstitution des Protoplasmas und des Zellkernes die Verwandtschaft der Arten und entwickelt endlich, gestützt auf die Verwandtschaftsverhältnisse der jetzt lebenden und der untergegangenen Gewächse, den genetischen Zusammenhang der tausenderlei Formen, die Geschichte der Pflanzen und des Pflanzenlebens der ganzen Erde.

Mögen auch die letzten Gründe des Lebens unerklärt bleiben — schon dadurch, daß wir eine Erscheinung auf ihre nächsten Ursachen zurückführen, findet das in unserem modernen naturwissenschaftlichen Denken eingewurzelte Bedürfnis, alle Vorgänge als Wirkungen aufzufassen und uns die Ursachen dieser Wirkungen anschaulich zu machen, wenigstens teilweise seine Befriedigung. Gerade in der Verknüpfung der ermittelten

Tatsachen, in der Bildung von Vorstellungen des Zusammenhanges der beobachteten gleichzeitigen oder reihenweise aufeinanderfolgenden Erscheinungen liegt ein unwiderstehlicher Reiz und eine fortwährende Anregung zu neuem Forschen. Auch mit der Gewißheit, die Wahrheit niemals vollständig ergründen zu können, werden wir doch immer nach der Wahrheit suchen. Und zwar ist der Forschungsdrang, dieses Bedürfnis nach Erklärung der Tatsachen, der Wunsch, die stummen Rätsel, als welche uns die Pflanzengestalten gegenüberstehen, zu lösen, desto lebhafter, je lebendiger die Einbildungskraft des Forschers ist, jene herrliche Gabe, deren Bedeutung und Berechtigung in naturgeschichtlichen Fragen nicht hoch genug angeschlagen werden kann.

Aber man gibt sich nicht mehr, wie Linné, damit ab, für alle Fragen Antworten bloß auszudenken und unser logisches Vermögen so lange zu schrauben und zu drücken, bis eine scheinbare Erklärung herauskommt, sondern die Hauptaufgabe von heute ist es, Methoden der Beobachtung und Experimente zu erfinden, welche die Pflanzen zwingen, selbst die Antwort und daher eine richtige Antwort zu geben. Eine große Anzahl von Forschern wirkt hier am gemeinsamen Ziele. Als bedeutendster ist Wilhelm Pfeffer in Leipzig zu nennen. Immer weitere Aufgaben hat sich die Physiologie gestellt. Was man früher kaum zu hoffen wagte, auch die Morphologie und Anatomie, die einst nur der Beschreibung zugänglich waren, zu experimentellen Disziplinen zu machen, ist durch die durchaus eigenartigen Arbeiten Hermann Böchtings in Tübingen angebahnt und erreicht. Die Lehre von der Wandelbarkeit der Formen und der Entstehung neuer Formen auf dem Wege der Vererbung erhielt durch Hugo de Vries' weitgehende Versuche neue tatsächliche Grundlagen, was zugleich den Beweis lieferte, wie unererschöpflich die Anregung weiterwirkt, die Darwins unvergesslicher Forschertätigkeit entsprungen ist. Die Vererbung, bisher eine bloße Vorstellung, wurde nun auch zu einer Vererbungslehre, zu einer weitreichenden Sonderwissenschaft, die durch ihren Einfluß auf die bisherige Empirie der Pflanzenzüchtung auch wichtige praktische Erfolge zeitigte. Auch hier knüpft sich der Fortschritt an einen Namen. Erst dadurch, daß man die vergessenen, auf sorgfältige Kreuzungsversuche gegründeten Vererbungsgeetze Gregor Mendels (gest. 1884) wieder in ihr Recht einsetzte, wurde dies Gebiet bloßer Spekulation der Forschung zugänglich gemacht.

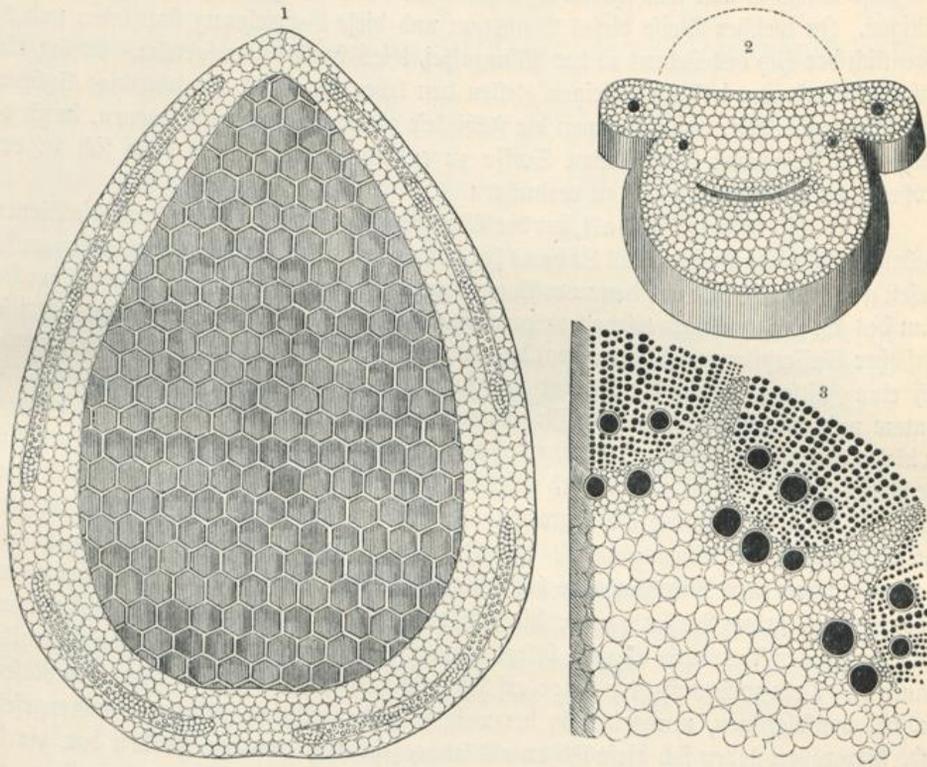
I. Das Lebendige in der Pflanze.

1. Die Zellen und die Protoplasten als Träger des Lebens.

Die Entdeckung der Zellen.

Was ist das Leben? So oft irgendeine bedeutende naturwissenschaftliche Entdeckung gemacht wurde, glaubte man der Lösung dieser die Menschen jederzeit lebhaft interessierenden Frage näher gekommen zu sein. Niemals aber schien die Hoffnung, das große Rätsel des Lebens ergründen zu können, so berechtigt, wie zur Zeit der Erfindung des Mikroskops (dem der päpstliche Leibarzt Fabri 1667 endgültig diesen Namen gab), in jener auch sonst für die Entwicklung der Naturwissenschaften so wichtigen Periode, in der man die Entdeckung machte, daß mit Hilfe von Glaslinsen Gegenstände in vergrößertem Maßstabe zur Anschauung gebracht werden können. Man erwartete durch Anwendung dieser Vergrößerungsgläser nicht nur eine Einsicht in den feineren, dem freien Auge nicht erkennbaren Bau der lebendigen Wesen, sondern auch Aufschlüsse über jene Vorgänge, welche das Leben der Pflanzen und Tiere ausmachen. Die ersten Entdeckungen, die mit Hilfe des Mikroskops im letzten Drittel des 17. Jahrhunderts gewonnen wurden, machten auch auf die Beobachter einen überwältigenden Eindruck. Von Leeuwenhoek in Delft, welcher Vergrößerungsgläser benutzte, die er selbst durch Zusammenschmelzen feiner Glasfäden hergestellt hatte, wurden 1676 Dinge beobachtet, die man geraume Zeit für arge Täuschungen hielt. Erst als der Engländer R. Hooke die Existenz der von Leeuwenhoek in Aufgüssen von Pfefferkörnern gesehenen winzigen Wesen bestätigte und in einer Versammlung der königlichen Gesellschaft in London 1677 unter seinem Mikroskop zeigte, wichen die Zweifel über das Vorhandensein jener ungeahnten Geschöpfe. Es wurde damals sogar ein besonderes Protokoll aufgenommen, das alle, die sich von der Richtigkeit der Beobachtung durch den Augenschein überzeugt hatten, unterzeichneten, was wohl beweist, wie sehr man von der Bedeutung dieser Entdeckungen erfüllt war. Weil damals als wichtigster Anhaltspunkt zur Unterscheidung von Tieren und Pflanzen das Vorhandensein oder Fehlen der Bewegung galt, so wurden die winzigen Wesen, die man zuerst in den aus Pfefferkörnern, dann auch aus anderen Pflanzenteilen gewonnenen Aufgüssen sich bewegen und herumtummeln sah, Aufgusstierchen oder Infusorien genannt und sämtlich als Tiere betrachtet. D. F. Müller in Kopenhagen beobachtete ein Jahrhundert später schon mehrere hundert Formen im Süß- und Meerwasser, und der große Forscher Ehrenberg hat von 1829 bis zu seinem Tode 1876

diese mikroskopischen Wesen aufs eingehendste studiert. Der Name Infusorien sowie die Vorstellung von ihrer tierischen Natur wurden dann auf alle lebenden Wesen, die nur unter dem Mikroskop erkennbar waren, übertragen. Erst viel später wurde ermittelt, daß die Fähigkeit, Bewegungen auszuführen, auch zahlreichen Organismen zukomme, welche im Hinblick auf andere Eigenschaften als Pflanzen zu gelten haben, und daß viele sogenannte Infusorien dem Reiche der Pflanzen gezählt werden müssen.



Pflanzenzellen (nach Grew, *Anatomy of Plants*, London 1682): 1 Längsschnitt durch einen jungen Aprikosensamen; 2 Querschnitt durch den Blattstiel des wilden Scharlachkrautes; 3 Querschnitt durch einen Kiefernweig. (Zu S. 22.)

Das Mikroskop sollte auch Aufschlüsse über den inneren Bau der höheren Gewächse geben, und es ist begreiflich, daß sich zahlreiche Naturforscher jener Zeit mit wahren Feuereifer den dahin zielenden Untersuchungen zuwendeten. Alle gewannen den Eindruck, daß die unter das Mikroskop gebrachten Blätter, Früchte, Wurzeln und Stengel und insbesondere das Holz und das Mark der Stengel in ihrem Aufbau nicht homogen seien und mit Bienenwaben oder mit einem Spitzengewebe verglichen werden könnten; denn gleich diesen zeigten sich die untersuchten Pflanzenteile aus zahlreichen Zellen oder Fasern zusammengesetzt, die teils leer, teils mit Saft angefüllt waren. Von dieser Ähnlichkeit schreibt sich auch der Name Zelle her, welcher später eine so große Rolle in der Botanik spielen sollte. In den Bildern, die man von den unter dem Mikroskop gesehenen Pflanzenteilen anfertigte, tritt auch diese Ähnlichkeit mit Bienenzellen recht deutlich hervor,

ja mitunter sogar noch etwas auffallender, als man es in Wirklichkeit sehen kann, wie das z. B. an der auf S. 21 wiedergegebenen getreuen Kopie von drei Kupferstichen aus dem großen und schönen, im Jahre 1682 veröffentlichten ersten Werke über Pflanzenanatomie von Nehemias Grew der Fall ist. Neben den an Bienenzellen erinnernden Gebilden beobachtete man auch noch Röhrchen und Fasern, fand diese in der mannigfachsten Weise verteilt und gruppiert, zu Mark und Holz, zu Strängen und Häuten verbunden und sah alle diese Dinge in den wachsenden Pflanzenteilen an Umfang zunehmen und sich vervielfältigen. In welcher Weise dieses Wachstum und diese Vermehrung stattfindet, und wo eigentlich der Sitz des Lebens in der Pflanze sei, blieb freilich unaufgeklärt. Es lag aber nahe, anzunehmen, daß diese kleinen Zellen den lebendigen Teil, die lebendige Substanz der Pflanzen bilden, und daß ihnen die Fähigkeit zukomme, den aufgesogenen, durch die Röhren aufsteigenden Flüssigkeiten Stoffe zu entnehmen und durch diese sich zu vergrößern, zu wachsen und sich zu vermehren.

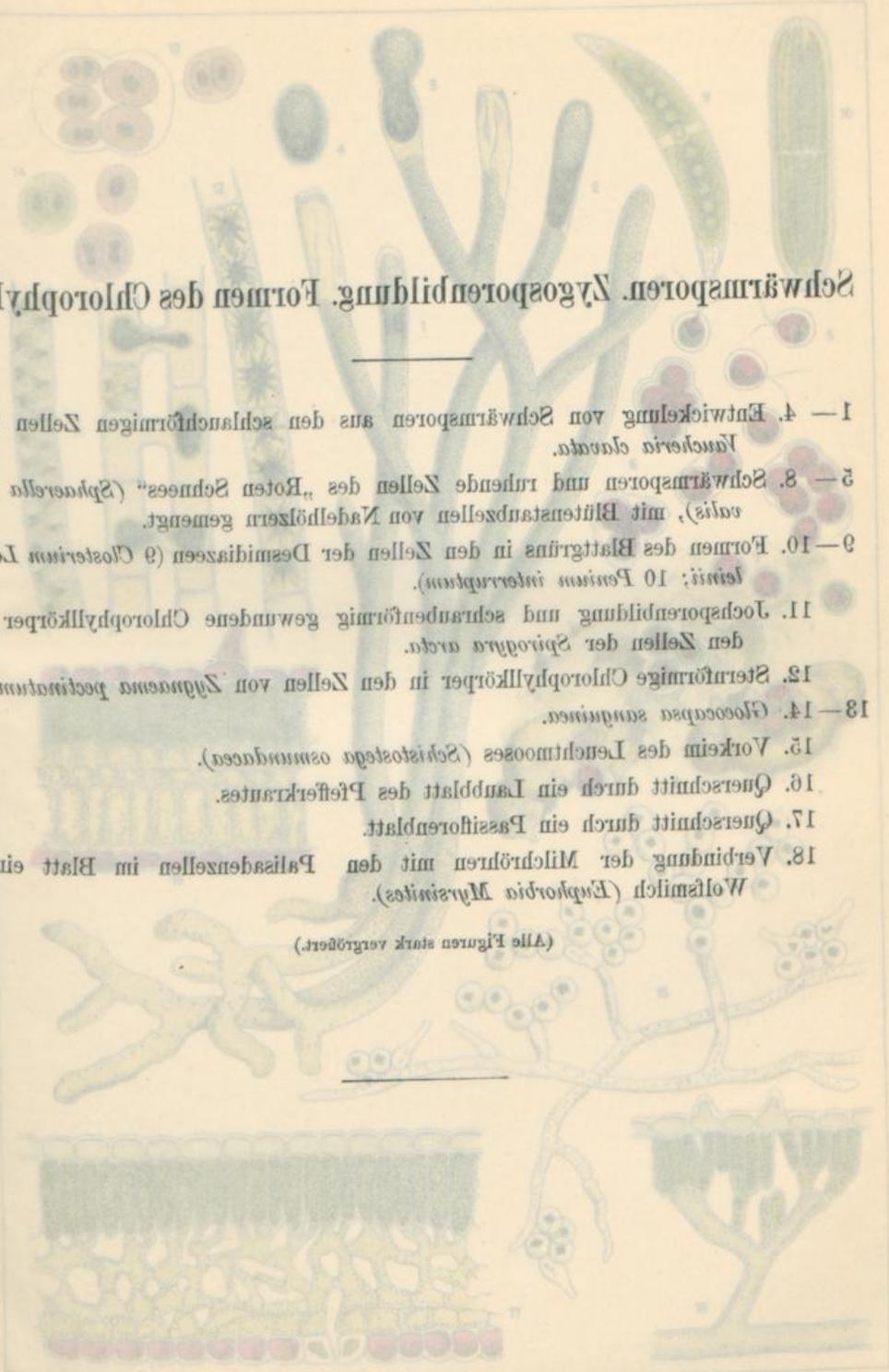
Daß der schleimige Inhalt, der die Pflanzenzellen, ähnlich wie der Honig die Bienenzellen, erfüllt, der Träger des Lebens sei, wurde damals noch nicht geahnt. Man mußte diesen glashellen Inhalt mit den unvollkommenen Mikroskopen übersehen. Die erst im Beginn des 19. Jahrhunderts wiederholt gemachte Beobachtung, daß aus den Zellen gewisser einfacher Wasserpflanzen (Fadenalgen) der Inhalt als Schleimkügelchen ausgestoßen werde, sich eine Zeitlang selbständig bewege und im Wasser herumtreibe, dann aber zur Ruhe komme und zum Ausgangspunkte für ein neues Pflanzenwesen werde, hätte allerdings zu dieser Auffassung hinführen können; es wurden aber von der Mehrzahl der Zeitgenossen die Angaben hierüber für unglaublich gehalten, und erst als der Wiener Botaniker Unger nochmals diese Erscheinung als unzweifelhafte Tatsache feststellte, wurde ihr allmählich die entsprechende Würdigung zuteil. Im Jahre 1826 untersuchte nämlich der genannte Botaniker unter dem Mikroskop eine bei Ottakring im Gebiete der Stadt Wien gefundene fadenförmige, grüne Wasserpflanze, die von den Systematikern als Alge bezeichnet und mit dem Namen *Vaucheria clavata* belegt worden war (nach dem französischen Botaniker Vaucher). Dem unbewaffneten Auge erscheint sie in Gestalt von polsterförmigen Rasen, die aus dunkelgrünen, unregelmäßig verzweigten und verfilzten Fäden zusammengesetzt sind. Vergrößert stellen sich diese Fäden als lange, schlauchförmige Zellen dar, die in dem Maße, als sie oben fortwachsen und seitliche zweigartige Ausbuchtungen treiben, an der Basis erbleichen und absterben. Die blinden Enden dieser Schläuche sind gerundet und stumpf. Der Inhalt der Schläuche ist schleimig, an und für sich farblos, aber mit grünen Kügelchen, dem Chlorophyll, und Öltröpfchen erfüllt (s. die beigeheftete Tafel „Schwärm-sporen. Zochfrüchte. Formen des Chlorophylls“).

Es kommt nun für jeden dieser Schläuche eine Zeit, in der sein Ende keulen- oder kolbenförmig anschwillt und sich durch eine zarte Duerwand von dem Faden abgrenzt. Sobald das geschehen, zieht sich der dunkelgrüne Inhalt von dem stumpfen Ende des durchsichtigen Schlauches etwas zurück. Fast gleichzeitig hellt sich der vordere Teil des Inhaltes in dem Kolben auf, während weiter entfernt von dem Ende des Schlauches die Färbung des Zellinhaltes sehr dunkel wird (s. die beigeheftete Tafel, Fig. 1). Zwölf Stunden nach Eintritt dieser Veränderung sondert sich der Teil, welcher das kolbenförmige Ende erfüllt, von dem schleimigen Gesamtinhalte des Schlauches ganz ab (Fig. 2), kurz darauf reißt die Zellhaut am Scheitel des Kolbens mit Blitzesschnelle auf, die Lappen des Risses stülpen sich nach

Schwärmiporen. Zygosporienbildung. Formen des Chlorophylls.

- 1—4 Entwicklung von Schwärmiporen aus den schlauchförmigen Zellen der
Ulothrix clavata.
 5—8 Schwärmiporen und ruhende Zellen des „Roten Schnees“ (Sphaerella ni-
 valis), mit Blütenstanzellen von Nadelbäumen gemengt.
 9—10 Formen des Blattgrüns in den Zellen der Desmidiaceen (9 *Closterium Leib-
 leinii*; 10 *Poridium intermedium*).
 11 Tochterporenbildung und schraubenförmig gewundene Chlorophyllkörper in
 den Zellen der *Spirogyra arcta*.
 12 Sternförmige Chlorophyllkörper in den Zellen von *Zygnema pectinatum*.
 13—14 *Glacocapsa sardouana*.
 15 Vorkeim des Leuchtmooses (*Schistostegia osmundacea*).
 16 Querschnitt durch ein Laubblatt des Pfefferkranzes.
 17 Querschnitt durch ein Passiflorenblatt.
 18 Verbindung der Milchhöhlen mit den Palisadenzellen im Blatt einer
 Wolfsmilch (*Euphorbia Myrsinites*).

(Alle Figuren stark vergrößert.)



Schwärmiporen. Zygosporienbildung. Formen des Chlorophylls.

ja mitunter sogar noch etwas auffallender, als man es in Wirklichkeit sehen kann, wie das z. B. an der auf S. 21 wiedergegebenen getreuen Kopie von drei Kupferstichen aus dem großen und schönen, im Jahre 1682 veröffentlichten ersten Werke über Pflanzenanatomie von Nehemiah Grew der Fall ist. Neben den an Bienenzellen erinnernden Gebilden beobachtete man auch noch Röhrchen und Fasern, fand diese in der mannigfachsten Weise verteilt und gruppiert, zu Mark und Holz, zu Strängen und Häuten verbunden und sah alle diese Dinge in den wachsenden Pflanzenteilen an Umfang zunehmen und sich vervielfältigen. In welcher Weise dieses Wachstum und diese Vermehrung stattfindet, und wo

Schwärmsporen. Zygosporenbildung. Formen des Chlorophylls.

nahe, anzunehmen, daß diese kleinen Zellen den lebendigen Teil, die lebendige Substanz der Pflanzen bilden, und daß ihnen die Fähigkeit zukomme, den aufgefogenen, durch die Röhren aufsteigenden Flüssigkeiten Stoffe zu entnehmen und durch diese sich zu ver-

1—4. Entwicklung von Schwärmsporen aus den schlauchförmigen Zellen der *Vaucheria clavata*.

5—8. Schwärmsporen und ruhende Zellen des „Roten Schnees“ (*Sphaerella nivalis*), mit Blütenstaubzellen von Nadelhölzern gemengt.

9—10. Formen des Blattgrüns in den Zellen der Desmidiaceen (9 *Closterium Leiblinii*; 10 *Penium interruptum*).

11. Jochsporenbildung und schraubenförmig gewundene Chlorophyllkörper in den Zellen der *Spirogyra arcta*.

12. Sternförmige Chlorophyllkörper in den Zellen von *Zygnema pectinatum*.

13—14. *Gloeo capsula sanguinea*.

15. Vorkeim des Leuchtmooses (*Schistostega osmundacea*).

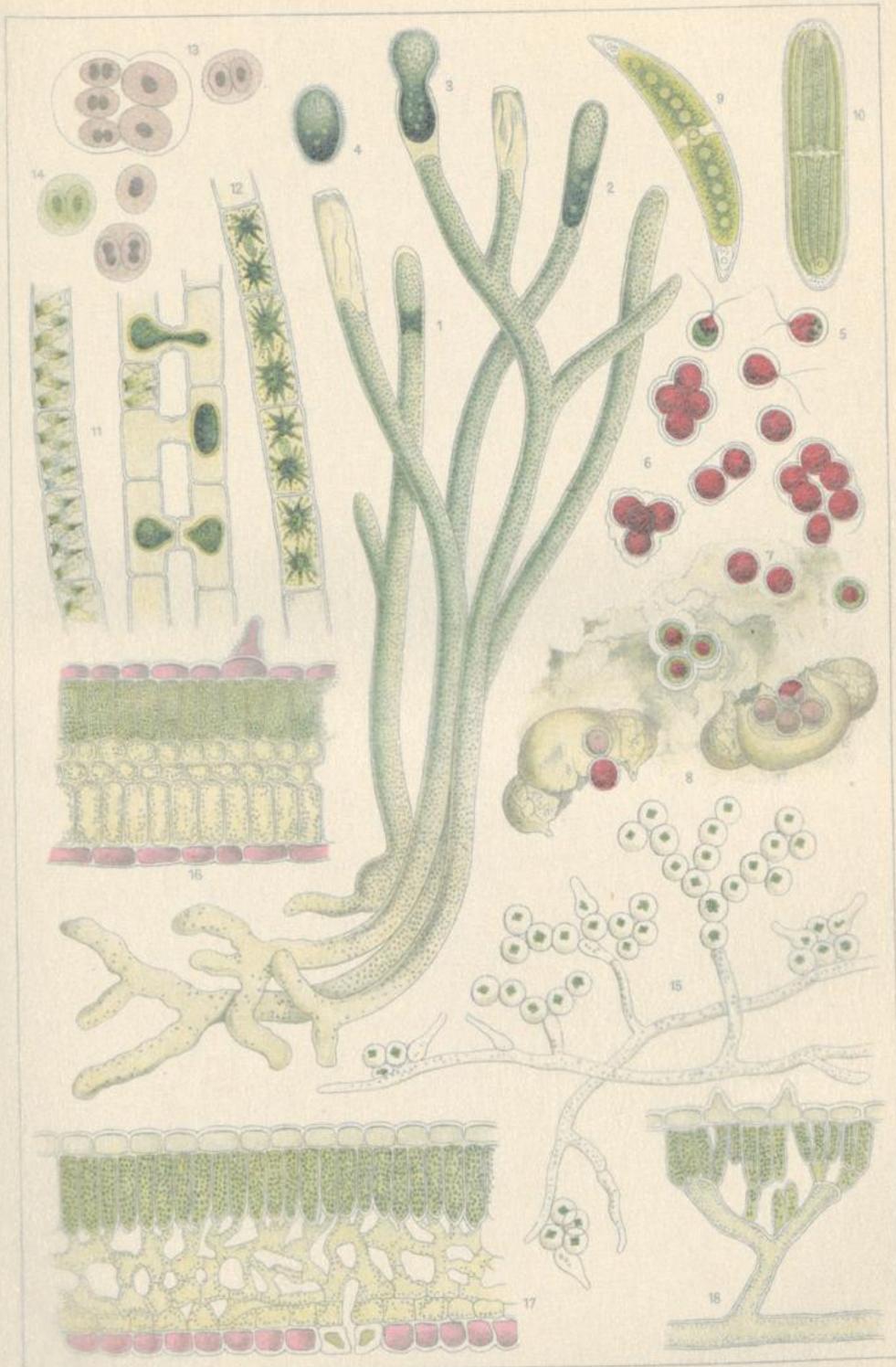
16. Querschnitt durch ein Laubblatt des Pfefferkrautes.

17. Querschnitt durch ein Passiflorenblatt.

18. Verbindung der Milchröhren mit den Palisadenzellen im Blatt einer Wolfsmilch (*Euphorbia Myrsinites*).

(Alle Figuren stark vergrößert.)

Es kommt nun für jeden dieser Schläuche eine Zeit, in der sein Ende keulen- oder kolbenförmig anschwillt und sich durch eine zarte Quertwand von dem Faden abgrenzt. Sobald das geschehen, zieht sich der dunkelgrüne Inhalt von dem stumpfen Ende des durchsichtigen Schlauches etwas zurück. Fast gleichzeitig hellt sich der vordere Teil des Inhaltes in dem Kolben auf, während weiter entfernt von dem Ende des Schlauches die Färbung des Zellinhaltes sehr dunkel wird (s. die beigeheftete Tafel, Fig. 1). Zwölf Stunden nach Eintritt dieser Veränderung sondert sich der Teil, welcher das kolbenförmige Ende erfüllt, von dem schleimigen Gesamtinhalte des Schlauches ganz ab (Fig. 2), kurz darauf reißt die Zellhaut an Scheitel des Kolbens mit Blüseschnelle auf, die Lappen des Risses stülpen sich nach



Schwärmsporen. Zygosporenbildung. Formen des Chlorophylls.

ja mitunter sogar noch etwas auffallender, als man es in Wirklichkeit sehen kann, wie das z. B. an der auf S. 21 wiedergegebenen getreuen Kopie von drei Kupferstichen aus dem großen und schönen, im Jahre 1682 veröffentlichten ersten Werke über Pflanzenanatomie von Nehemias Grew der Fall ist. Neben den an Bienenzellen erinnernden Gebilden beobachtet man auch noch Röhrcchen und Fasern, fand diese in der mannigfachsten Weise verteilt und gruppiert, zu Mark und Holz, zu Strängen und Häuten verbunden und sah alle diese Dinge in den wachsenden Pflanzenteilen an Umfang zunehmen und sich vervielfältigen. In welcher Weise dieses Wachstum und diese Vermehrung stattfindet, und wo

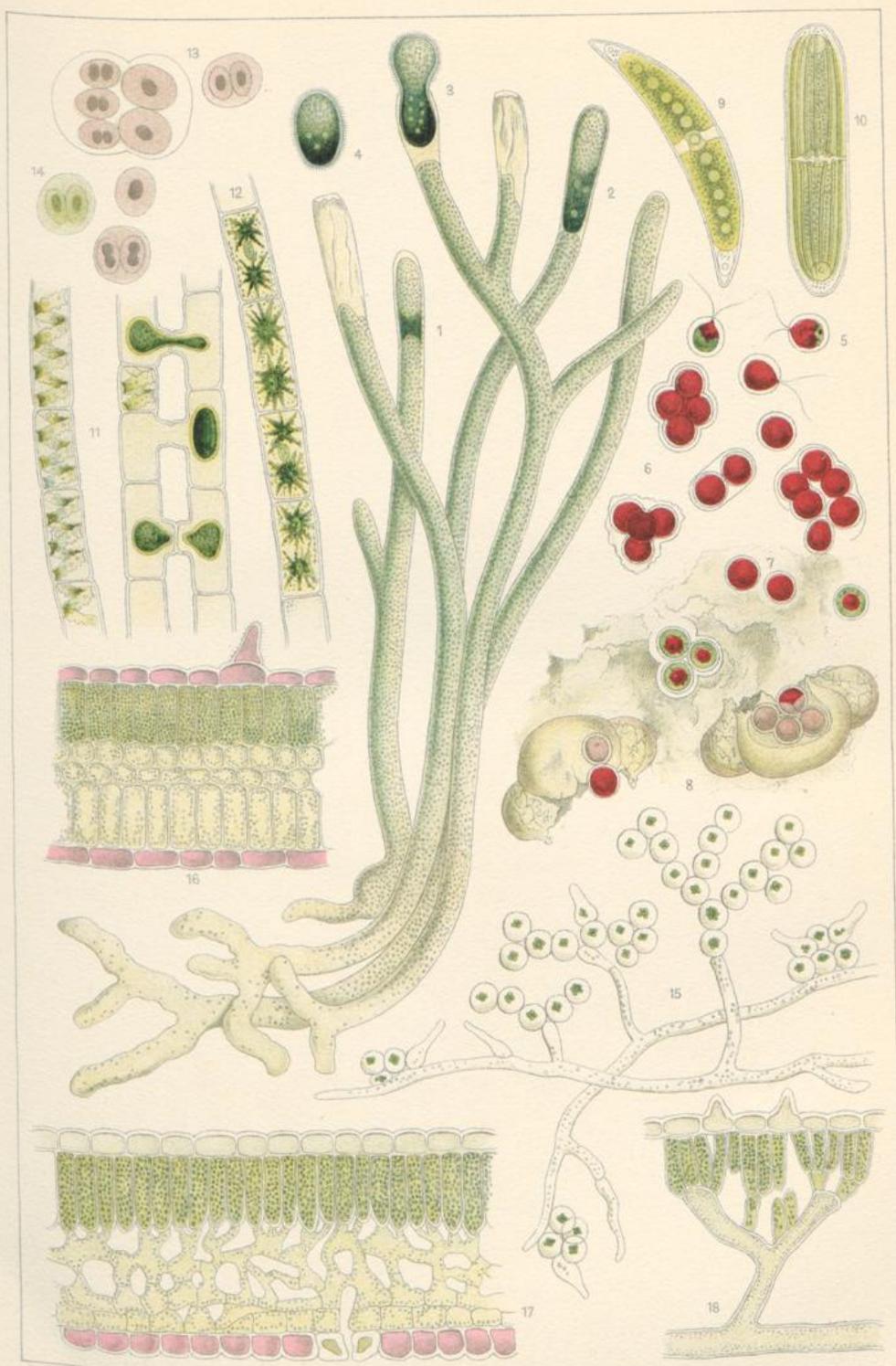
Schwärmsporen. Zygosporenbildung. Formen des Chlorophylls.

man anzunehmen, daß diese kleinen Zellen den lebendigen Teil, die lebendige Substanz der Pflanzen bilden, und daß ihnen die Fähigkeit zukomme, den aufgezogenen, durch die Höhen aufsteigenden Flüssigkeiten Stoffe zu entnehmen und durch diese sich zu ver-

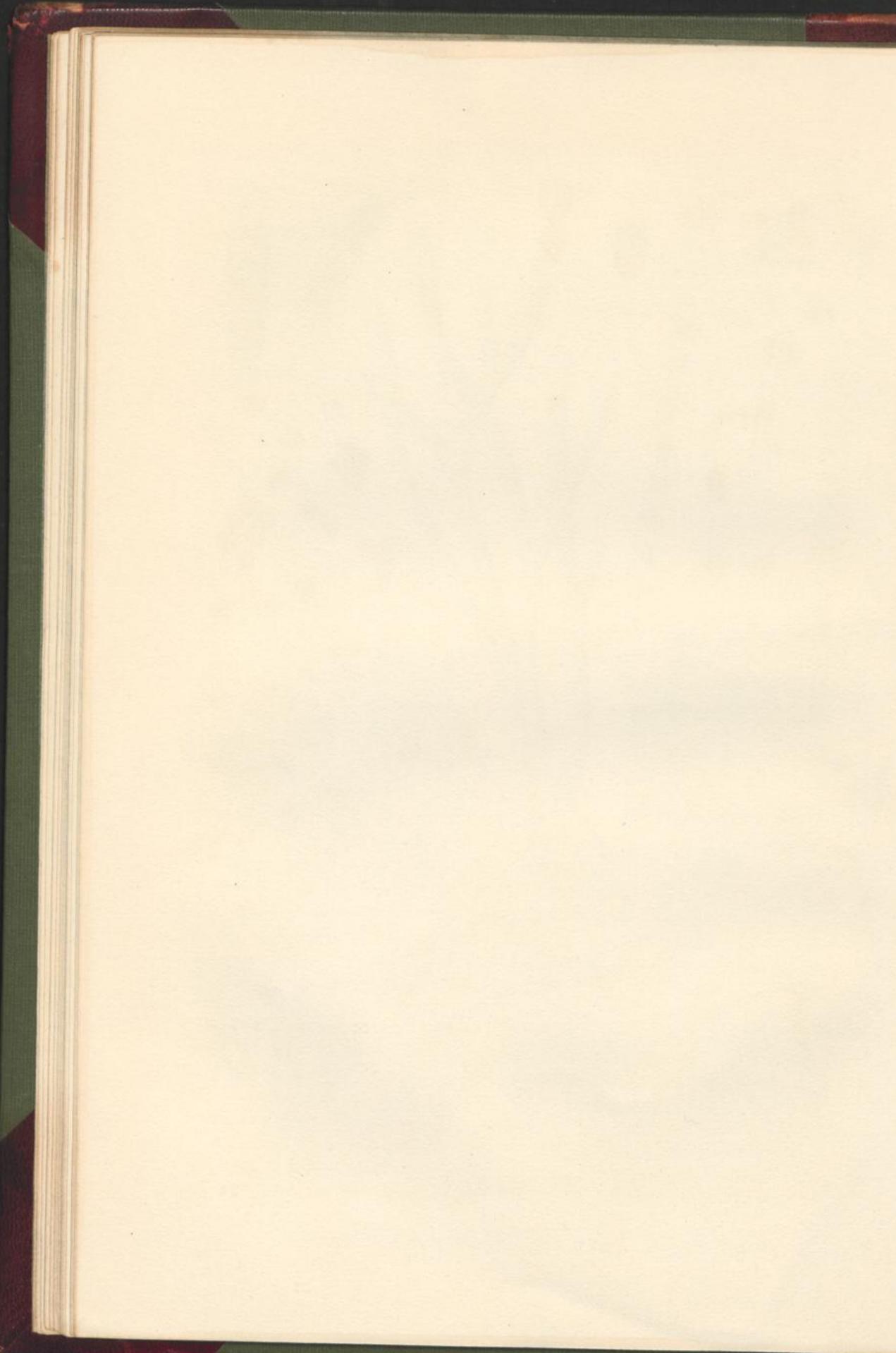
- 1—4. Entwicklung von Schwärmsporen aus den schlauchförmigen Zellen der *Vaucheria clavata*.
- 5—8. Schwärmsporen und ruhende Zellen des „Roten Schnees“ (*Sphaerella cni-valis*), mit Blütenstaubzellen von Nadelhölzern gemengt.
- 9—10. Formen des Blattgrüns in den Zellen der Desmidiaceen (9 *Closterium Leib-leinii*; 10 *Penium interruptum*).
11. Jochsporenbildung und schraubenförmig gewundene Chlorophyllkörper in den Zellen der *Spirogyra arcta*.
12. Sternförmige Chlorophyllkörper in den Zellen von *Zygaena pectinatum*.
- 13—14. *Glococapsa sanguinea*.
15. Vorkeim des Leuchtmooses (*Schistostega osmundacea*).
16. Querschnitt durch ein Laubblatt des Pfefferkrautes.
17. Querschnitt durch ein Passiflorenblatt.
18. Verbindung der Milchröhren mit den Palisadenzellen im Blatt einer Wolfsmilch (*Euphorbia Myrsinites*).

(Alle Figuren stark vergrößert.)

Es kommt nun für jeden dieser Schläuche eine Zeit, in der sein Ende keulen- oder kolbenförmig anschwillt und sich durch eine zarte Quertwand von dem Faden abgrenzt. Sobald das geschehen, zieht sich der dunkelgrüne Inhalt von dem stumpfen Ende des durchlöcherigen Schlauches etwas zurück. Fast gleichzeitig heilt sich der vordere Teil des Inhaltes in zwei Kolben auf, während weiter entfernt von dem Ende des Schlauches die Färbung des Zellinhaltes sehr dunkel wird (s. die beigeheftete Tafel, Fig. 1). In 20 Stunden nach Eintritt dieser Veränderung webert sich der Teil, welcher das kolbenförmige Ende erfüllt, von dem hinteren Schlamminhalte des Schlauches ganz ab (Fig. 2), kurz darauf reißt die Zellhaut am Scheitel des Kolbens mit Vorpostenwelle auf, die Lappen des Rißes stülpen sich nach



Schwärmsporen. Zygozoozoidbildung. Formen des Chlorophylls.



auswärts, und der in dem Kolben enthaltene weiche grüne Ballen schiebt sich in diesen Riß vor (Fig. 3). Da der Schleimballen einen größeren Durchmesser besitzt als der Riß, so wird er beim Vordrängen eingeschnürt, erhält eine fast biskuitförmige Gestalt, und es macht auf kurze Zeit den Eindruck, als würde er hier festgeklemmt bleiben. Es erfolgt nun aber eine ganz plötzliche, drehende und zugleich vordrängende Bewegung in der ganzen Masse des grünen Schleimballens, und im nächsten Augenblicke hat er die enge Pforte des Kolbens verlassen und schwimmt jetzt frei in dem umgebenden Wasser herum (Fig. 4). Man bezeichnet ihn jetzt als Schwärmspore.

Dieser ganze Vorgang des Ausschlüpfens spielt sich zwischen 8 und 9 Uhr morgens, und zwar innerhalb zwei Minuten, ab. Die ausgeschlüpfte Schwärmspore hat die Form eines sehr regelmäßigen Ellipsoides angenommen (Fig. 4), ist an dem einen Pole heller, an dem anderen dunkler grün und bewegt sich immer mit der helleren Seite voran. Zunächst steigt der Schwärmer gegen das Licht zur Oberfläche des Wassers empor, senkt sich aber bald darauf wieder in die Tiefe, kehrt dann oft plötzlich auf halbem Wege um, schlägt mitunter auch eine wagerechte Richtung ein, vermeidet aber bei allen diesen Bewegungen das Anstoßen an die seinen Weg etwa kreuzenden festen Gegenstände und weicht auch schwimmenden Körpern, die sich mit und neben ihm im gleichen Wasser herumtreiben, sorgfältig aus. Die Bewegung wird vermittelt durch kurze, wimperartige Fortsätze (Cilien), die ringsum von der Oberfläche der Schwärmspore ausgehen und in lebhafter, schwingender Bewegung sind. Mit Hilfe dieser Wimpern, die durch ihre Schwingungen kleine Wirbel im Wasser hervorbringen, wird die grüne Schwärmspore ziemlich rasch nach einer Richtung hin vorwärts bewegt. Bei diesem Vorwärtsschieben dreht sie sich aber zugleich um ihre Längsachse, und es ist daher die Linie, der sie folgt, unverkennbar eine Schraubenlinie. Die Schnelligkeit des Schwimmens ist zu allen Zeiten nahezu dieselbe. In einer Minute wird eine Wasserschicht von nicht ganz 2 cm (1,76 cm), in einer Stunde also etwa 1 m durchschwommen. Mitunter gönnt sich das schwimmende Ellipsoid allerdings eine kurze Ruhe; sofort aber beginnt wieder das Auf- und Absteigen, Umkehren und Hin- und Herschwanken. Zwei Stunden nach dem Ausschlüpfen werden die Bewegungen auffallend matter, die Ruhepausen, in denen zwar noch eine Drehung, aber kein Vorwärtsbewegen des Körpers mehr stattfindet, werden immer länger und häufiger. Endlich gelangt der Schwimmer zur dauernden Ruhe. Er landet an irgendeiner Stelle, am liebsten an der Schattenseite eines im Wasser schwimmenden oder auch feststehenden Körpers, seine Achsendrehung hat aufgehört, die Wimperfortsätze haben ihre Schwingungen eingestellt und ziehen sich wieder in die Masse des Körpers zurück, der ellipsoide, an dem vorderen Pole hellere Körper des Schwimmers wird zu einer einfarbig dunkelgrünen Kugel.

Solange sich der Schleimballen in Bewegung befindet, fehlt ihm eine besondere Hülle. Die äußerste Schicht seiner schleimigen Masse ist allerdings dichter als die innere, aber eine scharfe Grenze ist nicht festzustellen, und man kann wohl nicht von einer besonderen Haut sprechen. Sobald aber die Spore gestrandet ist und die Kugelgestalt angenommen hat, wird von ihr an der Oberfläche eine feste, farblose, durchsichtige Haut ausgeschieden. Schon 26 Stunden später stülpen sich aus dieser ruhenden Spore sehr kurze, verzweigte Schläuche aus, die zu Haftorganen werden (Fig. 1), und in entgegengesetzter Richtung streckt sich die kugelige Zelle zu einem langen Schlauche, der sich verzweigt und im Wasser flottiert. Nach

kurzer Zeit können die Enden dieses verzweigten Schlauches wieder kolbenförmig anschwellen, von seinem schleimigen Inhalte trennt sich wieder ein Teil ab, der als Schwimmer entlassen wird, und von neuem beginnt das Spiel, welches soeben geschildert wurde.

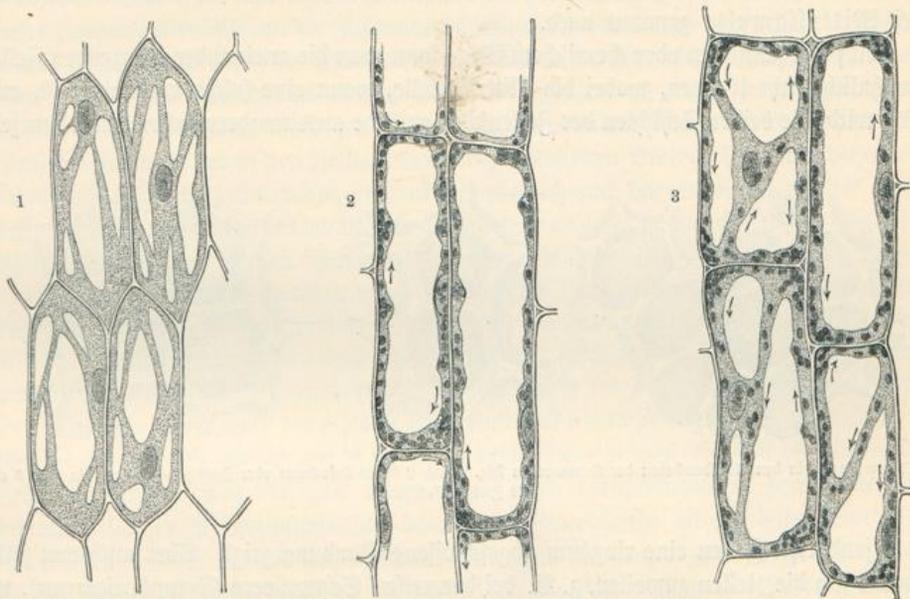
Die Entdeckung des Protoplasmas.

Wie die oben geschilderte *Vaucheria* offenbaren unzählige andere Algen unserer Teiche und Tümpel dem stillen Beobachter am Mikroskop, daß in den Algenzellen ein lebendiger Inhalt steckt, der zu Fortpflanzungszwecken ins Freie treten kann. Aber diese kryptogamischen Pflänzchen sind so verschieden von der uns nahe umgebenden Pflanzenwelt, daß die Frage nicht müßig erscheint, ob es sich hier um eine allgemeine Tatsache des Pflanzenlebens oder bloß um eine Sonderbarkeit dieser niederen Gewächse handelt. Sehr bald nach Entdeckung des zelligen Aufbaues von Bäumen und Kräutern hatte sich ergeben, daß auch hier die Zellmembranen nicht leer sind, sondern einen flüssigen Inhalt haben. Schleiden machte 1838 die folgenreiche Entdeckung, daß alle Pflanzenzellen außerdem einen kleinen kugelförmigen weichen Körper, den Zellkern, enthalten, den Schwann bald darauf auch in allen tierischen Zellen nachwies. Man kam dann dahinter, daß der Zellinhalt nicht bloß eine wässrige Flüssigkeit ist, sondern daß die Zellen einen Schleim enthalten, welcher der Innenwand der Kammern wie eine Tapete anliegt, aber auch den Innenraum teilweise erfüllt. Dieses Wesen von gallertähnlicher, schleimiger Konsistenz, das in der Zellkammer wie die Muschel oder Schnecke in ihrem Gehäuse wohnt, ist anfänglich ungegliedert und füllt als eine dem Anscheine nach gleichartige Masse die ganze Kammer aus, später aber sondert sie sich in mehrere deutlich erkennbare Teile, namentlich in den erwähnten tapetenartigen Wandbeleg an der Innenseite der Zellhaut und in Falten, Stränge, Fäden und Bänder, die sich durch den Innenraum der Zelle ziehen (s. Abbildung, S. 25).

Die Substanz des Bewohners der Zellkammer bezeichnete 1846 Hugo v. Mohl, der Entdecker dieser Verhältnisse, mit dem Namen Protoplasma, weil sie, obwohl von schleimiger Konsistenz, doch mit keiner bekannten Schleimsubstanz Ähnlichkeit hat. In fast allen Zellen zeigt dieser Protoplasma Körper die gleiche Anordnung, indem ein Teil der Zellkammer anliegt und darum auch Wandprotoplasma genannt wird, während Stränge, Bänder und Falten derselben Substanz, die sich quer durch die Kammer von der einen Seite des Wandprotoplasmas zur anderen hinüberziehen, mit dem Namen Strangprotoplasma belegt wurden. Das Protoplasma kann unter Umständen, wie die Schwärmsporen der *Vaucheria* lehrten, auch ohne besonderen Schutz einige Zeit bestehen; in der Regel aber scheidet es alsbald eine ringsum geschlossene, feste Hülle aus und baut sich so gewissermaßen selbst die kleine Kammer, die es bewohnt. Man kann daher nacktes Protoplasma und solches, das in einer selbstgeschaffenen Zellkammer haust, unterscheiden und ersteres etwa mit einer Nacktschnecke, letzteres dagegen mit einer Schnecke vergleichen, die sich selbst das Haus erzeugt, in dem sie webt und lebt. Noch besser kann man die feste und derbe Zellhaut, mit der sich das Protoplasma umhüllt, mit einem schützenden Kleide, mit einer Gewandung vergleichen, die dem Leib angepaßt ist; und mit Rücksicht auf diesen Vergleich ist dann das Protoplasma als Zellenleib, die ausgesonderte feste Hülle desselben aber als Zellhaut zu bezeichnen. Nicht diese Zellhaut, die man zuerst unter den

Vergößerungsgläsern bemerkte und der Form wegen als Zelle bezeichnete, ist demnach das Schaffende und Bildende, das sich Ernährende und Vermehrende, sondern der Zellenleib ist es, jenes schleimige, farblose Protoplasma, das im Inneren der selbstgeschaffenen Zellhautumhüllung tätig ist, und das daher auch als der lebendige Teil, als der Träger des Lebens aufgefaßt werden muß.

Der Name Zelle hat sich in der Wissenschaft so eingebürgert, daß man später auch die Hauptsache, nämlich das aus der Zellkammer ausgeschlüpfte Protoplasma, als Zelle bezeichnete und dafür den nichts weniger als glücklich gewählten Namen nackte Zelle



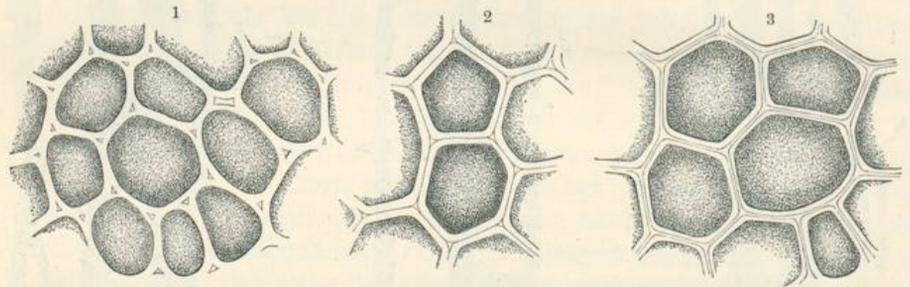
In Zellkammern eingeschlossenes Protoplasma: 1 Protoplasma in den Zellen der Sommerzwiebel; 2 strömendes Protoplasma in den Zellen von Vallisneria; 3 strömendes Protoplasma in den Zellen von Elodea. (Zu S. 24, 27 u. 38.)

anwendete. In neuerer Zeit nennt man jene aus Protoplasma bestehenden lebendigen Einzelwesen, die bei einzelligen Algen und Pilzen die selbstgeschaffenen Kammern als Einsiedler bewohnen, unter Umständen auch ihre Behausungen verlassen und nackt herumswimmen können, in den umfangreichen Pflanzengebäuden dagegen nebeneinander in gefelligem Verband bleiben, Protoplasten.

Nur wenn die Protoplasten kolonienweise in unzähligen kleinen Kammern dicht gedrängt beisammenwohnen, wenn diese Kammern von ebenen Wänden begrenzt und nach allen Richtungen hin ziemlich gleichförmig ausgebildet sind, macht der betreffende Pflanzenteil unter dem Mikroskop den Eindruck einer Bienenwabe und jede Kammer den Eindruck einer Zelle. Aber auch in solchen Fällen äußerer Ähnlichkeit besteht doch ein sehr wesentlicher Unterschied darin, daß in einer Bienenwabe jede der Wände, durch welche die einzelnen Wachszellen gesondert sind, den benachbarten Räumen gemeinschaftlich angehört, daß demnach die Wachszellen Höhlungen in einer einheitlichen Grundmasse darstellen, während in den zelligen Pflanzenteilen jede Zelle ihre besondere selbständige Wand besitzt, weil hier

jede zwischen benachbarte Zellkammern eingeschaltete Scheidewand eigentlich aus zwei Schichten besteht (s. untenstehende Abbildung). Diese zwei Schichten sind an dünnen Zellohäuten, die eben erst von Protoplasten ausgehoben wurden, noch gar nicht oder doch nur teilweise zu erkennen, später lassen sie sich aber immer deutlich unterscheiden (Fig. 2). Häufig heben sich diese Schichten an einzelnen beschränkten Stellen voneinander ab, und es entstehen durch diese Trennung Gänge zwischen den Zellkammern (Fig. 1), die man mit dem Namen Interzellulargänge bezeichnet hat. Manchmal sieht man die Zellen auch in ihrer ganzen Ausdehnung wie durch eine Kittmasse zusammengeleimt. Dies ist die ursprüngliche, aus einem etwas anderen Stoffe wie die inneren Schichten bestehende Scheidewand, die auch Mittellamelle genannt wird.

Auf mechanischem oder chemischem Wege kann man die aneinander grenzenden Zellen gewöhnlich leicht trennen, wobei die Mittellamelle, wenn eine solche vorhanden ist, aufgelöst wird, die beiden Schichten der Zellenscheidewände auseinanderweichen und dann jede



Zellkammern: in den Scheidewänden der Kammern in Fig. 1 und 2 kleine Lufträume oder Interzellulargänge; in Fig. 3 eine feste Zwischensubstanz.

der gesonderten Zellen eine ringsum abgeschlossene Wandung zeigt. Aber auch von selbst trennen sich die Zellen zuweilen, z. B. bei der reifen Schneebere (Symphoricarpus), wo sie auseinanderfallen und im Inneren der Beerenhaut wie ein lockeres Pulver erscheinen. Häufig sind die einzelnen Zellkammern in die Länge gestreckt, schlauchförmig oder röhrenförmig, oder es wird auch die Wand solcher Kammern sehr dick, und zwar auf Kosten des Innenraumes, so daß dieser schließlich kaum mehr zu erkennen ist. Derartige Zellen machen den Eindruck von Fasern und Fäden; Gruppen derselben erscheinen als Bündel und Stränge, haben nicht die entfernteste Ähnlichkeit mit den Zellen einer Bienenwabe, und auf solche Gebilde will dann der Ausdruck Zelle nicht mehr passen. Um sie als wahre Zellen zu erkennen, muß man ihre Entstehung mit dem Mikroskop verfolgen, wo sich dann klar ergibt, daß sie anfangs Zellen sind und sich erst später verändern.

Auch der Ausdruck Zellgewebe, der den ersten anatomischen Werken entstammt und damals als Vergleich verzeihlich war, ist ganz dazu angetan, eine falsche Vorstellung von der Gruppierung und Verbindung der einzelnen Zellkammern zu veranlassen. Unter einem Gewebe denkt man sich doch eine Verbindung fadenförmiger Elemente, derart, daß ein Teil der Fäden nach einer Richtung hin parallel verläuft, und daß dieser Teil der Fäden durch andere ähnliche quer oder schräg durchschossen, gekreuzt und versflochten wird. Bei einem Gewebe, z. B. einem Stück Seidenzeug oder einem Spinnengewebe, werden die Fäden demnach durch Verflechtung und Verschlingung zusammengehalten. Das ist aber

bei den Zellverbindungen, die man Zellgewebe genannt hat, durchaus nicht der Fall. Selbst dann, wenn die Zellen eines sogenannten Zellgewebes eine schlauchförmige, fadenförmige oder faserige Gestalt besitzen, liegen sie nebeneinander, sind wie durch eine Kittmasse miteinander verbunden, niemals aber gekreuzt, umschlungen und verknüpft, wie die Fäden eines textilen Gewebes. Trotzdem hat man den Ausdruck „Zellgewebe“ sowohl in der pflanzlichen wie tierischen Anatomie für einen Verband von Zellen beibehalten, und wir werden ihn sehr oft benutzen müssen.

Man hat die Zellen auch mit Bausteinen verglichen, aber auch dieser Vergleich ist nicht zutreffend. Wenn sich würfelförmige Kristalle aus einer Kochsalzlösung ausscheiden, so kann dieser Vorgang allenfalls mit der Zusammenschichtung, mit dem Auf- und Anlagern von Bausteinen verglichen werden; ein Pflanzenblatt entwickelt sich aber nicht dadurch, daß sich einer schon vorhandenen Schicht eine weitere Schicht von Zellen von außen her zugesellt und anlagert. Die Entwicklung neuer Zellen erfolgt im Inneren der schon vorhandenen, sie erfolgt durch die Tätigkeit der in den Zellkammern eingeschlossenen Protoplasten, und diese liefern daher nicht nur das Baumaterial, sondern sind zugleich auch die tätigen Werkleute. Gerade darin erfassen wir ja einen der wichtigsten Unterschiede zwischen organischen und anorganischen Bildungen, und aus diesem Grunde ist auch der erwähnte Vergleich besser zu vermeiden.

Am anschaulichsten vermag man sich noch die Zellen und Zellverbindungen vorzustellen, wenn man sie mit den Behausungen lebender Wesen vergleicht, wie das in den vorhergehenden Zeilen auch schon wiederholt geschehen ist. Die lebendigen Protoplasten wohnen in den Zellkammern und bilden durch ihre Verbindung zu Geweben ein Gemeinwesen. Innerhalb eines jeden Pflanzenstocdes findet gewöhnlich eine Teilung der Arbeit statt, so daß, ähnlich wie in jedem anderen Gemeinwesen, ein Teil der Protoplasten diese, der andere jene Aufgabe übernimmt. Auch verschwinden in den älteren Zellkammern solcher Pflanzenstöcke die lebendigen Protoplasten häufig durch Eintrocknen; erstere dienen dann nur als unbewohnter Unterbau der ganzen weitläufigen Behausung, die mit Luft- und Wasserleitungen durchzogen ist; die Protoplasten aber haben für sich und ihre Nachkommenschaft neue Stockwerke über der alten verlassenen Grundfeste aufgebaut und vollziehen jetzt in den kleinen Kammern dieser oberen Stockwerke ihre unermüdliche Arbeit. So besteht z. B. fast die ganze Holzmasse und Borke des Stammes und der Äste eines mächtigen Baumes aus festen, aber leeren Zellmembranen. Das Protoplasma dieser Gewebemasse hatte seine Aufgabe erfüllt, aber wie jedermann weiß, erzeugt der Baum an seiner Krone jährlich neue Knospen, Triebe und Blätter, die aus lebendigen Zellen bestehen, und auch der Stamm und die Rinde wachsen bekanntlich alljährlich in die Dicke, weil ein dünner Mantel lebendiger protoplasmahaltiger Zellen (das Kambium) zwischen Holz und Rinde erhalten bleibt. Die Arbeit der lebenden Protoplasten besteht in der Aufnahme von Nahrung, Vergrößerung des Körpers, Ausbildung einer Nachkommenschaft, Aufsuchen solcher Plätze, die für eine etwaige Überfiedelung sowie für die Ansiedelung der Nachkommenschaft die günstigsten Bedingungen darbieten, und in der Sicherung des Gebietes, in dem alle diese Arbeiten vor sich gehen sollen, gegen nachteilige äußere Einflüsse. Es erfolgen diese Arbeiten immer sorgfältig geregelt nach Zeit und Ort. Manche sind in ihrem Verlaufe nur schwierig zu beobachten, und man erkennt sie erst an dem fertigen Produkte, andere sind von sehr auffallenden Erscheinungen begleitet und in ihrer Aufeinanderfolge leicht zu übersehen.

2. Die Bewegungen der Protoplasten.

Die Ortsveränderungen der Protoplasten durch Vermittelung von Wimpern, Geißeln und Fortsätzen.

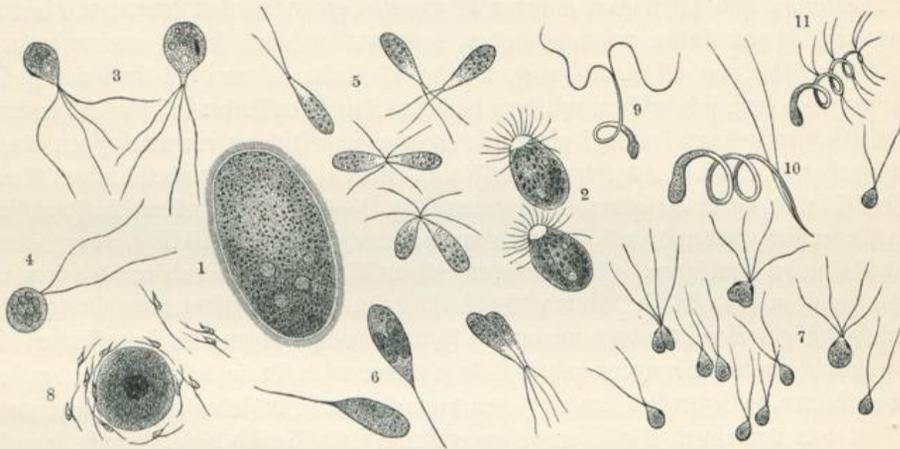
Eine der auffallendsten Erscheinungen, die bei den Arbeitsleistungen der lebenden Protoplasten beobachtet wird, ist die zeitweilige Ortsveränderung, welche der ganze Protoplast, sowie die Verschiebung und Umlagerung, welche die einzelnen Teilchen des Protoplasten erfahren. Am freiesten bewegen sich begreiflicherweise jene Protoplasten, die nicht in Zellkammern eingeschlossen sind, sondern ihre Wohnung verlassen haben und sich im Wasser herumtummeln. Ihre Zahl sowie die Mannigfaltigkeit ihrer Gestalt ist überaus groß. Mehrere tausend Arten von Sporenpflanzen entwickeln bei Gelegenheit ihrer Fortpflanzung, möge diese nun auf geschlechtlichem oder ungeschlechtlichem Wege erfolgen, solche bewegliche Protoplasten, und schon deren Auschlüpfen aus der Zellhülle findet in unzähligen Variationen statt, wenn sich auch dieser Vorgang im großen und ganzen in ähnlicher Weise abspielt, wie er im vorhergehenden bei *Vaucheria clavata* geschildert wurde. Bald entgleitet nur ein einziger, verhältnismäßig großer Protoplast der geöffneten Zellkammer, bald wieder zerfällt der Zellenleib, bevor die Kammer sich öffnet, in mehrere, oft in sehr viele, sich abrundende Teile, und es drängt sich dann ein ganzer Schwarm kleiner Protoplasten hervor.

Der Form nach weichen diese ausschwärmenden Protoplasten sehr voneinander ab. Bei den Schwärmsporen der Algen, die schön grün gefärbt sind, aber vielfach ein farbloses, mit einem orangeroten Fleck (Augenpunkt) versehenes Vorderende zeigen, nähert sich der Umriß dem eines Ellipsoides oder eines Vogeleies, auch birnförmige, keiselförmige und spindelförmige Gestalten kommen vor; bei den farblosen Spermatozoiden, den männlichen Befruchtungskörpern der Algen, Moose und Farne, ist der Körper der Protoplasten auch schraubig gedreht oder fortkzieherartig gewunden und dabei an dem einen Ende spatelförmig verbreitert oder keulensförmig verdickt (s. Abbildung, S. 29, Fig. 9—11). Sowohl die grünen wie die farblosen Schwärmer enthalten den in Zellen regelmäßig vorhandenen kugelförmigen Zellkern, von dem später noch die Rede sein wird. Von der Oberfläche dieser Schwärmer strecken sich gewöhnlich fadenförmige Fortsätze aus, die bei jeder Art ganz besonders angeordnet und auch nach Zahl und Maß genau bestimmt sind. In dem einen Fall ist die ganze Oberfläche dicht mit solchen kurzen Wimperfäden besetzt wie bei *Vaucheria* (Fig. 1); in einem anderen Falle bilden die Fäden einen Kranz dicht hinter dem kegelförmigen oder schnabelförmigen Ende des birnförmigen Protoplasten, wie bei *Oedogonium* (Fig. 2), oder aber es sind von irgendeiner Stelle, am häufigsten von dem verschmälerten Ende, zwei oder vier lange, unendlich dünne Fäden wie Fühlhörner vorgestreckt (Fig. 3 u. 4). Manche Formen sind an ihrem einen Ende mit einer einzigen langen Geißel versehen, wie die Schwärmsporen von *Botrydium* (Fig. 6), und wieder andere sind an dem schraubig gedrehten Teile mit nach allen Seiten abstehenden Wimpern besetzt, so daß sie ein struppiges, borstiges Ansehen erhalten (Fig. 11).

Mit Hilfe dieser Wimperfäden, die schwingende und zugleich kreisende Bewegungen machen, schwimmen die Protoplasten im Wasser umher. Für viele derselben ist übrigens Schwimmen nicht der zutreffende Ausdruck, namentlich dann nicht, wenn man an das

Schwimmen der Fische durch Vermittelung der Flossen denkt. Tatsächlich ist mit der Fortbewegung nach einer bestimmten Richtung eine fortwährende Drehung des Protoplasten um seine längere Achse verbunden, und man hat daher diese Bewegung mit dem Fortrollen einer Kugel verglichen, obschon auch dieser Vergleich nicht ganz genau ist, da ja bei den schwärmenden Protoplasten die Fortbewegung in der Richtung jener Achse erfolgt, um die sich der ganze Körper dreht. Am besten würde noch die in Frage stehende Bewegung mit dem Einbohren eines Körpers in einen anderen Körper verglichen werden können, und das Richtige ist, sich vorzustellen, daß sich die weichen Protoplasten in das noch weichere Wasser bohren und sich daselbst bohrend fortbewegen, etwa wie ein Torpedogeschöß.

Bei den meisten hier in Betracht kommenden Protoplasten ist die Fortbewegung sehr



Schwärmende Protoplasten. a) Schwärmersporen von Algen: 1 Vaucheria; 2 Oedogonium; 3 Draparnaldia; 4 Coleochaete; 5 Pandorina; 6 Botrydium; 7 Ulothrix. b) Spermatozoiden von Algen, Moosen und Farne: 8 Fucus; 9 Funaria; 10 Sphagnum; 11 Adiantum. (Zu S. 28.)

gleichmäßig; unter den mit einer einzigen Geißel versehenen Formen, zumal denen, die dem Stamme der Spaltpilze angehören, finden sich aber auch solche, die sehr ungleichmäßige Bewegungen ausführen. Nachdem sie längere Zeit hindurch ruhig an einer Stelle verharren, schnellen sie plötzlich in einem Bogen vorwärts, kommen dann zeitweilig wieder zur Ruhe, um darauf neuerdings fortzuschellen.

Unter dem Mikroskop erscheint nicht nur der sich bewegende Körper, sondern auch der Weg, den er zurücklegt, vergrößert; und wenn man z. B. einen sich fortbohrenden Protoplasten bei dreihundertmaliger Vergrößerung betrachtet, so erscheint seine Bewegung dreihundertmal rascher, als sie wirklich ist. In der Tat ist die Bewegung dieser Protoplasten ziemlich langsam. Die früher geschilderten Schwärmer von Vaucheria, die in einer Minute einen Weg von 17 mm zurücklegen, gehören jedenfalls zu den schnellsten. Die meisten kommen in einer Minute um nicht mehr als 5 mm, ja viele nur um 1 mm vorwärts.

Wie schon bei der Schilderung der Vaucheria (vgl. S. 23) erwähnt wurde, dauert die Fortbewegung der bewimperten Protoplasten nur verhältnismäßig kurze Zeit. Sie macht ganz den Eindruck einer zielbewußten Reise, eines Aufsuchens günstiger Plätze zur Ansiedelung und weiteren Entwicklung oder aber eines Hafchens anderer

Protoplasten, die sich in derselben Flüssigkeit herumtreiben. Die grünen Protoplasten suchen zunächst immer das Licht auf und sonnen sich an der Oberfläche des Wassers, dann aber wirbeln sie nach einiger Zeit wieder in die dunklere Tiefe hinab. Manche unter ihnen, zumal die größeren, vermeiden es hierbei, aufeinander zu treffen und weichen sich sorgfältig aus. Sind ihrer viele auf engem Raume zusammengedrängt, und stoßen zwei gegeneinander oder berühren sich allenfalls mit den Wimpern, so hört für einen Augenblick ihre Bewegung auf, aber schon nach einigen Sekunden rücken sie wieder auseinander und entfernen sich in umgekehrten Richtungen.

Im Gegensatz zu diesen ungeselligen Protoplasten haben andere das Bestreben, sich aufzusuchen und sich zu vereinigen. Es macht einen geradezu verblüffenden Eindruck, wenn man sieht, wie z. B. die kleinen, birnförmigen, im Wasser herumwirbelnden Protoplasten von *Pandorina* und zahlreichen anderen Algenarten gegeneinander steuern, mit den bewimperten, spitzen Enden zusammenstoßen, umkippen und sich seitlich aneinanderlegen (Fig. 5 der Abbildung auf S. 29), oder, wie bei *Ulothrix*, zu zwei und drei eine gleiche Richtung einhalten, sich haschen, mit dem vorderen Teil ihrer Leiber sich seitlich berühren, einige Minuten gepaart herumschwimmen und dann schließlich zu einem einzigen ovalen oder kugeligen Protoplasten verschmelzen (Fig. 7). Auch die kleinen spindelförmigen Protoplasten (Fig. 8) sowie die gedrehten Formen (Fig. 9–11), welche männliche Fortpflanzungskörper sind, streben danach, sich mit einem anderen, weiblichen, als Eizelle bezeichneten Protoplasten zu verbinden. Sie schmiegen sich an diese dicht an und verschmelzen mit ihr schließlich zu einer Masse. Eine solche Verschmelzung der schwärmenden Protoplasten ist kein zufälliges Spiel, sondern immer ein Fortpflanzungsvorgang der betreffenden Art.

An diese mittels Wimpern und Geißeln schwimmenden Protoplasten, welche der Zellhaut entbehren, schließen sich jene an, deren protoplasmatischer Zellenleib mit einer zarten Zellhaut wie von einem Mantel umgeben erscheint. Als Vorbild dieser Gruppe kann die *Alge Sphaerella nivalis* gelten, die man seinerzeit „Blume des Schnees“ genannt hat, und die nicht nur mit Rücksicht auf die merkwürdigen Bewegungsercheinungen, sondern auch im Hinblick auf das eigentümliche Vorkommen an Stellen, wo man alle Lebenstätigkeit für erloschen halten möchte, das Erstaunen der Laien und Gelehrten von jeher hervorgerufen hat. Es war im Jahre 1760, als *Saussure* zum erstenmal die Schneefelder in den savoyischen Hochgebirgen lebhaft rot gefärbt sah und die Erscheinung als *Roten Schnee* beschrieb. Einmal aufmerksam gemacht, fand man dann diesen Roten Schnee auch auf den Schweizer, Tiroler und Salzburger Alpen, auf den Pyrenäen, in den Karpathen, im nordöstlichen Teile des Uralgebirges, im arktischen Teile Skandinaviens und in der Sierra Nevada in Kalifornien. In großartigster Entwicklung wurde der Rote Schnee aber in Grönland beobachtet. Als Kapitän *John Ross* im Jahre 1818 auf seiner Entdeckungsexpedition im arktischen Amerika das Kap York umschiffte, sah er alle Schneefelder, die in den Schluchten und Runsen der Eisklippen eingelagert waren, lebhaft karmesinrot gefärbt, und dieser Anblick war so überraschend, daß *John Ross* diese felsigen Steilufer als *Crimson Cliffs* (Karmesin Klippen) bezeichnete. Bei Gelegenheit späterer Expeditionen in die arktischen Regionen wurde dann der Rote Schnee auch noch nördlich von Spitzbergen, im russischen Lappland und in Ostibirien beobachtet, nirgends aber in so staunenswerter Entwicklung wie auf den *Crimson Cliffs* in Grönland, von denen die beigeheftete Tafel „*Roter Schnee in der Baffinbai*“ ein naturgetreues Bild liefert.



Roter Schnee in der Baffinshai.
Nach Aquarell von Frh v. Heerne.

Protoplasten, die sich in derselben Flüssigkeit herumtreiben. Die grünen Protoplasten suchen zunächst immer das Licht auf und sonnen sich an der Oberfläche des Wassers, dann aber wirbeln sie nach einiger Zeit wieder in die dunklere Tiefe hinab. Manche unter ihnen, zumal die größeren, vermeiden es hierbei, aufeinander zu treffen und weichen sich sorgfältig aus. Sind ihrer viele auf engem Raume zusammengedrängt, und stoßen zwei gegeneinander oder berühren sich allenfalls mit den Wimpern, so hört für einen Augenblick ihre Bewegung auf, aber schon nach einigen Sekunden rücken sie wieder auseinander und entfernen sich in umgekehrten Richtungen.

Im Gegensatz zu diesen ungeselligen Protoplasten haben andere das Bestreben, sich aufzusuchen und sich zu vereinigen. Es macht einen geradezu verblüffenden Eindruck, wenn man sieht, wie z. B. die kleinen, birnförmigen, im Wasser herumwirbelnden Protoplasten von *Pandorina* und zahlreichen anderen Algenarten gegeneinander steuern, mit den bewimperten, spigen Enden zusammenstoßen, umkippen und sich seitlich aneinanderlegen (Fig. 5 der Abbildung auf S. 29), oder, wie bei *Ulothrix*, zu zwei und drei eine gleiche Richtung einhalten, sich haschen, mit dem vorderen Teil ihrer Leiber sich seitlich berühren, einige Minuten gepaart herumschwimmen und dann schließlich zu einem einzigen ovalen oder kugelförmigen Protoplasten verschmelzen (Fig. 7). Auch die kleinen spindelförmigen Protoplasten (Fig. 8) sowie die gedrehten Formen (Fig. 9—11), welche männliche Fortpflanzungskörper sind, streben danach, sich mit einem anderen, weiblichen, als Zelle bezeichneten Protoplasten zu verbinden. Sie schmiegen sich an diese dicht an und verschmelzen mit ihr schließlich zu einer Masse. Eine solche Verschmelzung der schwärmenden Protoplasten ist kein zufälliges Spiel, sondern immer ein Fortpflanzungsvorgang der betreffenden Art.

An diese mittels Wimpern und Geißeln schwimmenden Protoplasten, welche der Zellhaut entbehren, schließen sich jene an, deren protoplasmatischer Zellenleib mit einer zarten Zellhaut wie von einem Mantel umgeben erscheint. Als Vorbild dieser Gruppe kann die *Alge Sphaerella nivalis* gelten, die man seinerzeit „Blume des Schnees“ genannt hat, und die nicht nur mit Rücksicht auf die merkwürdigen Bewegungserscheinungen, sondern auch im Hinblick auf das eigentümliche Vorkommen an Stellen, wo man alle Lebenstätigkeit für erloschen halten möchte, das Erstaunen der Laien und Gelehrten von jeher hervorgerufen hat. Es war im Jahre 1760, als Saussure zum erstenmal die Schneefelder in den savoyischen Hochgebirgen lebhaft rot gefärbt sah und die Erscheinung als Roten Schnee beschrieb. Einmal aufmerksam gemacht, fand man dann diesen Roten Schnee auch auf den Schweizer, Tiroler und Salzburger Alpen, auf den Pyrenäen, in den Karpathen, im nordöstlichen Teile des Uralgebirges, im arktischen Teile Scandinaviens und in der Sierra Nevada in Kalifornien. In großartigster Entwicklung wurde der Rote Schnee aber in Grönland beobachtet. Als Kapitän John Ross im Jahre 1818 auf seiner Entdeckungsreise im arktischen Amerika das Kap York umschiffte hatte, sah er alle Schneefelder, die in den Schluchten und Runsen der Uferklippen eingelagert waren, lebhaft karminrot gefärbt, und dieser Anblick war so überraschend, daß John Ross diese felsigen Steilufer als Crimson Cliffs (Karmesin Klippen) bezeichnete. Bei Gelegenheit späterer Expeditionen in die arktischen Regionen wurde dann der Rote Schnee auch noch nördlich von Spitzbergen, im russischen Lappland und in Ostsibirien beobachtet, nirgends aber in so staunenswerter Entwicklung wie auf den Crimson Cliffs in Grönland, von denen die beigeheftete Tafel „Roter Schnee in der Baffinbai“ ein naturgetreues Bild liefert.



Roter Schnee in der Baffinsbai.
Nach Aquarell von Fritz v. Kerner.

Besieht man eines der Schneefelder, das von der Blume des Schnees gerötet ist, in der Nähe, so findet man, daß nur die oberflächlichste Schicht des Schnees, ungefähr 50 mm tief, die rotfärbende Substanz enthält, und daß sich die Erscheinung vorzüglich an den Stellen ausgebildet hat, wo der Schnee unter dem Einflusse der Sommerwärme teilweise abgeschmolzen ist, besonders also in den großen und kleinen Mulden und gegen den Rand der Schneefelder, wo sich regelmäßig auch der sogenannte Schneestaub oder Kryokonit in Gestalt von schwärzlichen, graphitartigen, schmierigen Streifen hinzieht. Unter dem Mikroskop betrachtet, stellt sich die den Schnee rotfärbende Masse als eine Anzahl kugeligter Zellen dar, die eine ziemlich derbe, farblose Zellhaut und ein mit Chlorophyll durchsetztes Protoplasma besitzen. Die grüne Farbe des Chlorophylls wird aber durch einen blutroten Farbstoff so verdeckt, daß man sie erst zu erkennen vermag, wenn der rote Farbstoff ausgezogen wird oder sich von selbst in der Zelle auf einige wenige beschränkte Stellen zurückzieht. Die vollkommen kugeligen Zellen rühren sich nicht von der Stelle und geben auch, solange der Schnee erstarrt ist, kein Lebenszeichen von sich. Sobald aber die Wärme der Hochsommermonate den Schnee zum Schmelzen bringt, werden auch diese Zellen lebendig; sie vergrößern sich zusehends und bereiten sich, wenn sie einmal eine gewisse Größe erreicht haben, zur Teilung und Vermehrung vor. Die Ernährung und Vergrößerung erfolgt auf Kosten des von dem Schmelzwasser des Schnees aus der atmosphärischen Luft absorbierten Kohlendioxyds und auf Rechnung der den Schneestaub bildenden anorganischen Bestandteile. Was den Schneestaub anbetrifft, so sei hier nur zum Verständnis der mikroskopischen Abbildung des Roten Schnees auf der Tafel bei S. 22, Fig. 5—8, bemerkt, daß sich in den Alpen unter den organischen Bestandteilen des Schneestaubes besonders häufig die durch Stürme in die Hochgebirgsregion hinaufgetragenen, teilweise schon in Verwesung begriffenen Blütenstaubzellen von Nadelhölzern, zumal von Fichten, Zirben und Lärchen, finden, und daß fast in allen untersuchten Proben die Zellen des Roten Schnees mit den querebenen, an beiden Seiten halbkugelig aufgetriebenen, schmutzig-gelblichen Blütenstaubzellen der genannten Koniferen in der Weise gemengt sind, wie es die Figuren 5—8 auf der Tafel bei S. 22 veranschaulichen.

Mit Hilfe der im Schmelzwasser des Schnees sich lösenden Bestandteile des Schneestaubes ernähren sich nun, wie gesagt, die roten Zellen, vergrößern sich und teilen sich schließlich in vier, manchmal aber auch in sechs und acht, seltener nur in zwei Tochterzellen (s. die Tafel „Schwärmisporen. Zochfrüchte. Formen des Chlorophylls“ bei S. 22, Fig. 6 u. 7). Als bald, nachdem sich die Teilung vollzogen hat, isolieren sich die gebildeten Tochterzellen, nehmen eine eiförmige Gestalt an und zeigen an dem schmälern Ende zwei lange, wirbelnde Wimperfäden, mit deren Hilfe sie sich ziemlich lebhaft im Schmelzwasser des Schnees bewegen, fortzuschwimmen und so ohne Zweifel zur Verbreitung über das Schneefeld beitragen. Im Augenblicke des Freiwerdens und der ersten Bewegungen, welche die kleinen Schwimmer ausführen, erscheint ihr Zellenleib nackt; bald aber umgibt sich jeder derselben mit einer sehr zarten, aber deutlich erkennbaren Haut, die jedoch merkwürdigerweise dem Protoplasma nicht dicht anliegt, sondern sich abhebt und den roten Körper wie ein weiter Sack umhüllt (Fig. 5). Nur vorn, wo sich die beiden Wimpern wirbelnd bewegen, liegt die Haut dem Zellenleibe dicht an, und man muß annehmen, daß hier die Wimpern, die nichts anderes als Fortsätze der Substanz des Protoplasmas sind, durch die Zellhaut durchgesteckt sind. Diese Schwärmer bilden das seltene Beispiel von Protoplasten, die sich

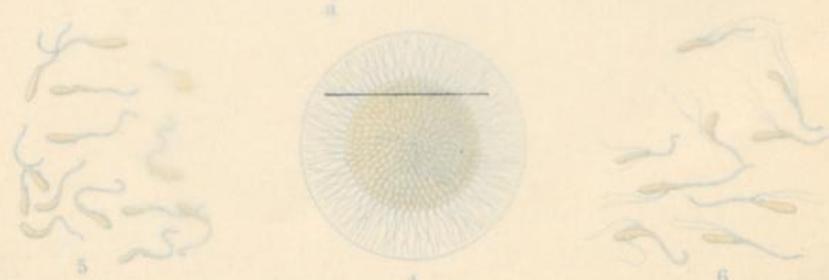
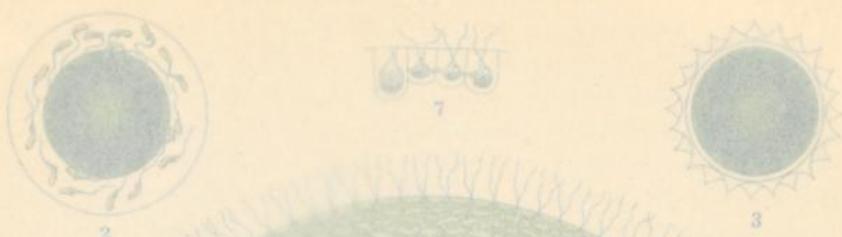
einzelnen durch Vermittelung von Wimpern im Wasser bewegen und dabei die selbstgeschaffene Zellhaut mit herumschleppen.

Wie lange das Herumschwimmen in der freien Natur dauert, ist nicht mit Sicherheit anzugeben. In unseren mittel- und südeuropäischen Hochgebirgen, wo auf die warmen Tage selbst im Hochsommer bitterkalte Nächte folgen, und das nicht abgeflossene Schmelzwasser in den Mulden der Schneefelder über Nacht wieder zu Eis erstarrt, wird die Bewegung ohne Zweifel oftmals unterbrochen; im hohen Norden, wo die Sonne im Hochsommer wochenlang nicht untergeht, dürfte dagegen eine solche Unterbrechung zu den Seltenheiten gehören. Auf keinen Fall ist übrigens die Beweglichkeit der roten Schwärmer auf so kurze Zeit beschränkt wie bei den gewöhnlichen Schwärmsporen. Sie vermögen sich auch zu ernähren und zu vergrößern, und man hat beobachtet, daß sie in der Kultur innerhalb zweier Tage einen viermal größeren Umfang angenommen haben. Sind sie endlich zur Ruhe gekommen, so ziehen sie ihre Wimpern ein, nehmen eine kugelförmige Gestalt an, verdicken ihre Zellhaut, die jetzt wieder dem Zellenseibe dicht anliegt, und teilen sich wieder in zwei, vier oder acht Zellen (Fig. 6 u. 7 der Tafel bei S. 22).

Mit dieser merkwürdigen Sphaerella nivalis sehr nahe verwandt und sowohl in der Form und Farbe als auch der Bewegung durch Wimpern übereinstimmend, ist Sphaerella pluvialis, die sogenannte Blutalge, die sich im mittleren Europa in kleinen, mit Regenwasser zeitweilig erfüllten Vertiefungen der Felsplatten, in Aushöhungen der Gesteine und auch in den im Freien aufgestellten Schalen und Becken einstellt, sich dort rasch vermehrt und dann den Eindruck hervorbringt, als ob das Regenwasser durch Blut rot gefärbt worden sei. Auch reiht sich an diese Sphaerella der im Süßwasser lebende, bei den Mikroskopikern berühmte *Volvox Globator* an, der schon Leeuwenhoek bekannt war, von ihm auch schon als Pflanzentwesen angesprochen, aber später von Linné der auffallenden Ortsveränderung wegen für ein Tier gehalten und Kugeltier genannt wurde. Eine solche *Volvox*-Kugel (vgl. die beigeheftete Tafel, Fig. 1) besteht aus einer ungemein großen Zahl (ca. 12000) von Zellen, die alle eine durchsichtige Gallertthülle und einen sternförmigen grünen Protoplasten besitzen und familienweise zusammenleben. Sie sind miteinander zu einer Hohlkugel verbunden, aber da die Gallertthüllen der Zellen glashell sind, so sieht man von außen nur die grünen, sternförmigen Protoplasten, die ein grünes Netz zu bilden scheinen. Von dem der Peripherie zugewendeten, durch einen glänzenden roten Punkt bezeichneten Ende jedes Protoplasten gehen ein paar Wimperfäden aus, die durch die zarte gallertartige Hülle der ganzen Kugel durchgesteckt sind, in das umgebende Wasser hinausragen und sich dort rhythmisch bewegen (Fig. 7). Ähnlich wie eine mit mehreren Rudern bemannte Barke durch die gleichmäßigen Ruderschläge im Wasser dahingleitet, bewegt sich nun auch der kugelige *Volvox Globator* fort, sobald die Protoplasten, welche die Besatzung dieses sonderbaren sphärischen Fahrzeuges bilden, mit ihren wimperförmigen Rudern zu pendeln und herumzuwirbeln beginnen, ein ungemein zierliches Schauspiel, das die Beobachter aller Zeiten in gerechtes Erstaunen versetzte und auch niemals verfehlen wird, bei jedem, der solche *Volvox*-Kugeln zum erstenmal langsam dahinrollen sieht, freudiges Entzücken hervorzurufen. Zwischen den Zellen der Kugeloberfläche sieht man große grüne Plasmakugeln. Es sind die weiblichen Zellen, die von in anderen Räumen liegenden männlichen gelbgefärbten beweglichen Spermatozoiden (Fig. 4—6) befruchtet werden (Fig. 2), um dann durch Teilung junge *Volvox*-Kugeln zu bilden. Gleich reizend sind die einfacher gebauten, mit dem *Volvox* verwandten

Die Entwicklung von Volvox globator.

1. Eine kugelförmige Kolonie mit männlichen (gelben) und weiblichen (grünen) Geschlechtszellen. In a, a sind die Spermatozooiden in verschiedener Lage zu sehen; bei dem untersten a sind sie schon auseinandergefallen, um herauszuschwärmen und eine grüne weibliche Zelle zu befruchten. 250mal vergrößert.
2. Eine weibliche Zelle, in deren Gallertkapsel die Spermatozooiden eingehüllt sind, 400mal vergrößert.
3. Eine nach der Befruchtung mit einer stacheligen feinen Membran umgebene, zur Spore gewordene weibliche Zelle, 400mal vergrößert.
4. Ein vereinigtes Spermatozooidenbündel, noch von der Zellhaut umschlossen, 800mal vergrößert.
5. Freie Spermatozooiden in Bewegung, die Geißeln sind wegen ihrer Feinheit unsichtbar.
6. Spermatozooiden, mit Jod getötet, um die Anheftung der Geißeln zu sehen.
7. Durchschnitt durch die kleinen Zellen, welche die Oberfläche der Kugel bilden. Die grünen bewimperten Protoplasten stecken in einer Gallertmembran, durch welche die Wimpern hindurchtreten.



Die Entwicklung von Volvox globator.

Nach Veró, Cohn, Die Entwicklungsgeschichte der Gattung Volvox.

Abdruck aus der Zeitschrift vom 1889. Doppeljahrgang des Geheimen Medicinalrats Professor Dr. Osseppert am 23. Jan. 1873.

einzelnen durch Vermittlung von Wimpern im Wasser bewegen und dabei die selbstgeschaffene Zellhaut mit herumschleppen.

Wie lange das Herumschwimmen in der freien Natur dauert, ist nicht mit Sicherheit anzugeben. In weiteren mittel- und südeuropäischen Hochgebirgen, wo auf die warmen Tage selbst im Hochsommer bitterkalte Nächte folgen, und das nicht abgestossene Schmelzwasser in den Mulden der Schneefelder über Nacht wieder zu Eis erstarrt, wird die Bewegung ohne Zweifel oftmals unterbrochen; im hohen Norden, wo die Sonne im Hochsommer wochenlang nicht untergeht, dürfte dagegen eine solche Unterbrechung zu den Seltenheiten gehören.

Die Entwicklung von *Volvox globator*.

Schwärmer auf so kurze Zeit beschränkt wie bei den geoböhmischen Schwärmsporen. Sie vermögen sich auch zu ernähren und zu vergrößern, und man hat beobachtet, daß sie in der Kultur innerhalb zweier Tage einen viermal größeren Umfang angenommen haben. Sind sie endlich zur Ruhe gekommen, so ziehen sie ihre Wimpern ein, nehmen eine kugelförmige Gestalt an, verdrängen ihre Zellhaut, die jetzt wieder dem Gelenkteile dicht anliegt, und teilen sich wieder in zwei, drei oder fünf Zellen (vgl. Fig. 6 u. 7 der Tafel der S. 22).

1. Eine kugelförmige Kolonie mit männlichen (gelben) und weiblichen (grünen) Geschlechtszellen. In a, a, a sind die Spermatozoiden in verschiedener Lage zu sehen; bei dem untersten a sind sie schon auseinandergefallen, um heraus-

Form zuschwärmen und eine grüne weibliche Zelle zu befruchten. 250mal vergrößert.

2. Eine weibliche Zelle, in deren Gallerthülle die Spermatozoiden eingedrungen sind, 400mal vergrößert.

3. Eine nach der Befruchtung mit einer stacheligen feinen Membran umgebene, zur Spore gewordene weibliche Zelle, 400mal vergrößert, bei den Mikroskopikern be-

rühmt. *Volvox globator* an der ich in Seemannshoef bekannt war, ist auch schon als Pflanzenspore angebrochen, aber später von Linné der auffallenden Ortsveränderung wegen für ein Tier gehalten und Kugeltier genannt wurde. Eine solche *Volvox*-Kugel (vgl. die

5. Freie Spermatozoiden in Bewegung, die Geißeln sind wegen ihrer Feinheit unsichtbar. sichtigige Gallerthülle und einen sternförmigen grünen Protoplasten besitzen

und Spermatozoiden zusammenziehen. Sie sind miteinander zu einer Kugel verbunden, aber da die Gallerthüllen der Zellen glashell sind, so sieht man von außen nur die grünen, sternförmigen Protoplasten, die ein grünes Netz zu bilden scheinen. Von dem der Sphäre

6. Spermatozoiden, mit Jod getötet, um die Anheftung der Geißeln zu sehen.

7. Durchschnitt durch die kleinen Zellen, welche die Oberfläche der Kugel bilden.

Die grünen bewimperten Protoplasten stecken in einer Gallertmembran, durch welche die Wimpern hindurchtreten.

durch die zarte gallertartige Hülle der ganzen Kugel durchgesteckt sind, in das umgebende Wasser hinaustragen und sich dort rhythmisch bewegen (Fig. 7). Ähnlich wie eine mit mehreren Rudern bemannte Barke durch die gleich-

mäßigen Ruderschläge im Wasser dahingleitet, bewegt sich nun auch der kugelige *Volvox Glo-*

bator fort, sobald die Protoplasten, welche die Befahrung dieses sonderbaren sphärischen Fahr-

zeuges bilden, mit ihren wimperförmigen Rudern zu pendeln und herumzuwirbeln beginnen,

ein ungemein zierliches Schauspiel, das die Beobachter aller Zeiten in gerechtes Erstaunen

versetzte und auch niemals verfehlen wird, bei jedem, der solche *Volvox*-Kugeln zum ersten-

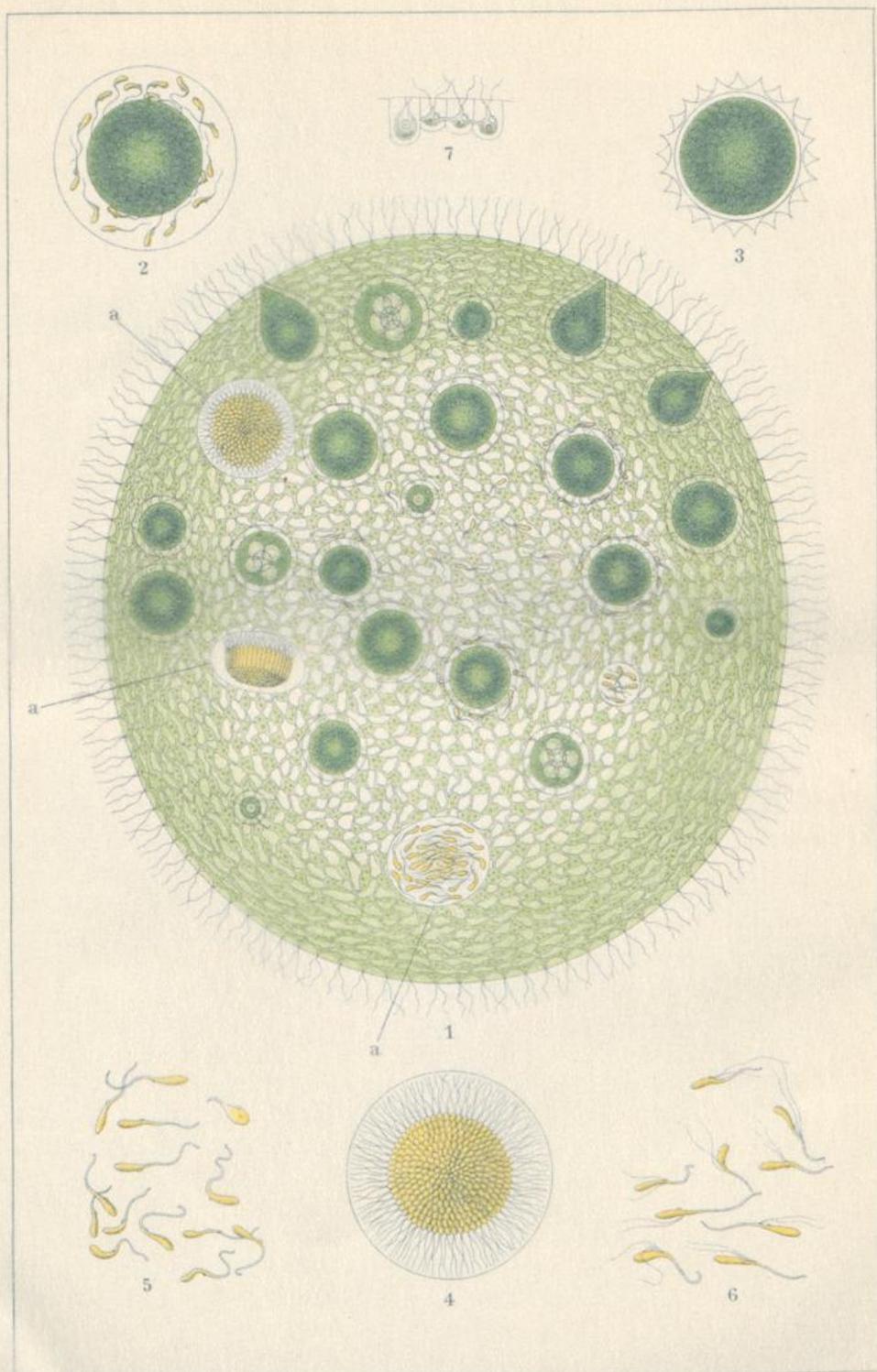
mal langsam dahintrollen sieht, freudiges Entzücken hervorzurufen. Zwischen den Zellen

der Kugeloberfläche sieht man große grüne Plasmatugeln. Es sind die weiblichen Zellen, die

von in anderen Räumen liegenden männlichen gelbgefärbten beweglichen Spermatozoiden

(Fig. 4—6) befruchtet werden (Fig. 2), um dann durch Teilung junge *Volvox*-Kugeln

zu bilden. Gleich reizend sind die einfacher gebauten, mit dem *Volvox* verwandten



Die Entwicklung von *Volvox globator*.

Nach Ferd. Cohn, Die Entwicklungsgeschichte der Gattung *Volvox*.

(Sonderabdruck aus der Festschrift zum 50jähr. Doktorjubiläum des Geheimen Medicinalrats Professor Dr. Göppert am 11. Jan. 1873.)

einzelnen durch Vermittelung von Wimpern im Wasser bewegen und dabei die selbstgeschaffene Zellhaut mit herumschleppen.

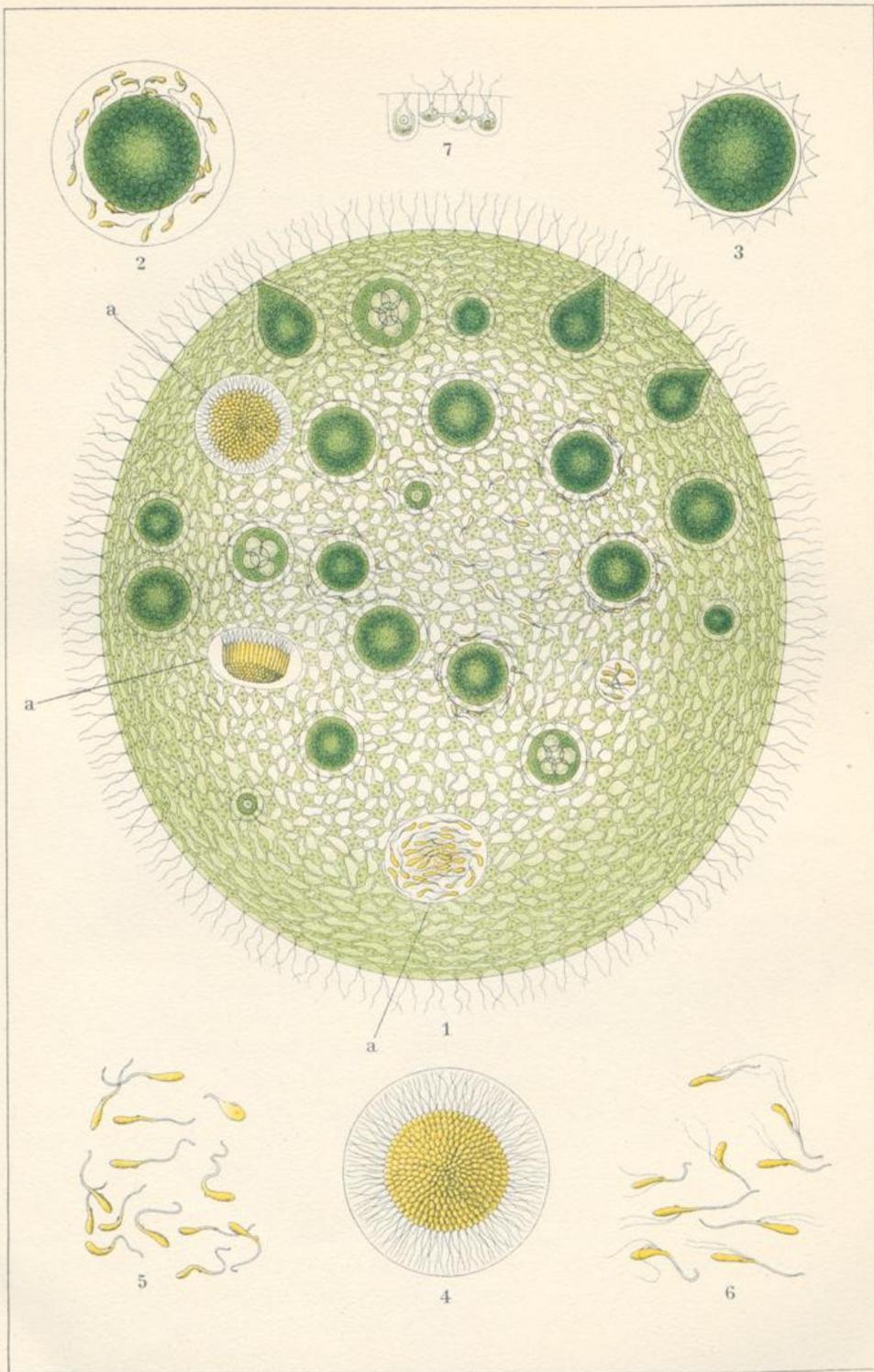
Wie lange das Herumschwimmen in der freien Natur dauert, ist nicht mit Sicherheit anzugeben. In unseren mittel- und südeuropäischen Hochgebirgen, wo auf die warmen Tage bald im Hochsommer bitterkalte Nächte folgen, und das nicht abgeflossene Schmelzwasser in den Mulden der Schneefelder über Nacht wieder zu Eis erstarrt, wird die Bewegung ohne Zweifel oftmals unterbrochen; im hohen Norden, wo die Sonne im Hochsommer wochenlang nicht untergeht, dürfte dagegen eine solche Unterbrechung zu den Seltenheiten gehören.

Die Entwicklung von *Volvox globator*.

Die Entwicklung der Schwärmer auf so kurze Zeit beschränkt wie bei den gewöhnlichen Schwärmsporen. Sie vermögen sich auch zu ernähren und zu vergrößern, und man hat beobachtet, daß sie in der Kultur innerhalb zweier Tage einen viermal größeren Umfang angenommen haben. Sind sie endlich

1. Eine kugelförmige Kolonie mit männlichen (gelben) und weiblichen (grünen) Geschlechtszellen. In a, a, a sind die Spermatozoiden in verschiedener Lage zu sehen; bei dem untersten a sind sie schon auseinandergefallen, um herauszuschwärmen und eine grüne weibliche Zelle zu befruchten. 250mal vergrößert.
2. Eine weibliche Zelle, in deren Gallertkugel die Spermatozoiden eingedrungen sind, 400mal vergrößert.
3. Eine nach der Befruchtung mit einer stacheligen feinen Membran umgebene, zur Spore gewordene weibliche Zelle, 400mal vergrößert, bei den Mikroskopikern berühmte Kugel.
4. Ein vereinigtes Spermatozoidenbündel, noch von der Zellhaut umschlossen, 800mal vergrößert.
5. Freie Spermatozoiden in Bewegung, die Geißeln sind wegen ihrer Feinheit unsichtbar.
6. Spermatozoiden, mit Jod getötet, um die Anheftung der Geißeln zu sehen.
7. Durchschnitt durch die kleinen Zellen, welche die Oberfläche der Kugel bilden.

Die grünen bewimperten Protoplasten stecken in einer Gallertmembran, durch welche die Wimpern hindurchtreten. durch die zarte gallertartige Hülle der ganzen Kugel durchgesteckt sind, in das umgebende Wasser hinausstagen und sich dort rhythmisch bewegen (Fig. 7). Ähnlich wie eine mit mehreren Rudern bemannte Barke durch die gleichmäßigen Ruderschläge im Wasser dahingleitet, bewegt sich nun auch der kugelige *Volvox Globator* fort, sobald die Protoplasten, welche die Besatzung dieses sonderbaren sphärischen Fahrzeuges bilden, mit ihren wimperförmigen Rudern zu pendeln und herumzuwirbeln beginnen, ein ungemein zierliches Schauspiel, das die Beobachter aller Zeiten in gerechtem Erstaunen versetzte und auch niemals verfehlt wird, bei jedem, der solche *Volvox*-Kugeln zum erstenmal langsam dahintrollen sieht, freudiges Entzücken hervorzurufen. Zwischen den Zellen der Kugeloberfläche sieht man große grüne Plasmakugeln. Es sind die weiblichen Zellen, die von den zwischen ihnen liegenden männlichen gelbgefärbten beweglichen Spermatozoiden (Fig. 4) befruchtet werden (Fig. 2), um dann durch Teilung junge *Volvox*-Kugeln zu bilden. Dieselben sind die einfacher gebauten, mit dem *Volvox* verwandten



Die Entwicklung von *Volvox globator*.

Nach Serd. Cohn, Die Entwicklungsgeschichte der Gattung *Volvox*.

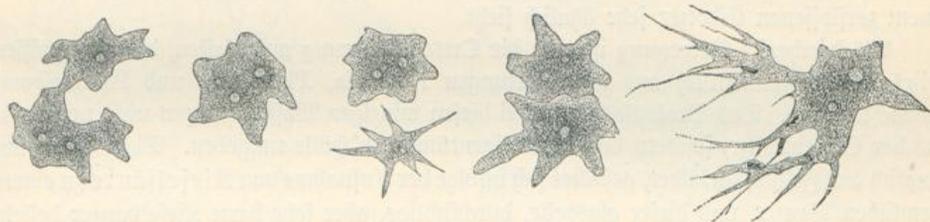
(Sonderabdruck aus der Festschrift zum 50jähr. Doktorjubiläum des Geheimen Medizinalrats Professor Dr. Göppert am 11. Jan. 1875.)

Amöben!

beweglichen Kolonien von *Pandorina* und *Gonium*, die gelegentlich in kleinen Wasseransammlungen in Menge auftreten. (Vgl. die Tafel „Algenformen“ in Bd. II.)

Alle mit Hilfe von Wimpern und Geißeln sich fortbewegenden Protoplasten bedürfen, sobald sie am Ziel ihrer Reise angelangt sind, ihrer wirbelnden Bewegungsorgane nicht weiter. Die Wimpern, ob zahlreich oder vereinzelt, ob kurz oder lang, werden zunächst starr und sind dann auf einmal nicht mehr zu unterscheiden. Entweder werden sie eingezogen, oder sie zerfließen in der umgebenden Flüssigkeit. Mögen sich nun die zur Ruhe gekommenen Schwärmer irgendwo geeignete Stellen zur weiteren Entwicklung ausgewählt haben, wie bei *Vaucheria*, oder mögen sie sich mit ihresgleichen zu einer neuen Zelle vereinigt haben, immer nimmt der am Ziel angelangte und zur Ruhe gekommene Protoplast die Kugelgestalt an und umgibt sich für den Fall, daß er nicht schon mit einem Mantel aus Zellstoff versehen ist, mit einer festen Hülle, welche die weiche, schleimige Masse seines Körpers nach außen zu schützen vermag.

Wesentlich anders als die eben geschilderte ist die Bewegung anderer Protoplasten, die nicht mit Geißeln oder kreisend schwingenden Wimperfäden versehen sind, sondern die nach



Kriechendes Protoplasma (Amöben).

dieser oder jener Richtung hin Teile ihres Leibes vorstrecken, gleichzeitig andere Teile desselben zurückziehen und dadurch den Umriss ihres äußerst zarten, gallertigen Körpers fort und fort verändern. Man nennt solche kleine Protoplasten *Amöben*. Sie sind, von ähnlichen, zu den Protozoen, also zum Tierreich gehörigen Formen abgesehen, meist aus den Sporen von Schleimpilzen (*Myxomyzeten*) entstanden. In dem einen Augenblick erscheinen sie unregelmäßig eckig, kurz danach sternförmig, dann wieder in die Länge gezogen, spindelförmig, allmählich wieder rundlich (s. obenstehende Abbildung). Die vorgestreckten Teile sind bald zart und laufen in einen Faden aus, bald sind sie verhältnismäßig dick und haben im Vergleiche zur Hauptmasse des Leibes fast das Ansehen von Armen und Füßen. Auch die *Amöben* lassen einen Zellkern erkennen. Die Bewegung ist hier nicht bohrend, sondern kriechend. Indem sich die fußartigen Fortsätze, die man *Pseudopodien* (Scheinfüßchen) genannt hat, nach einer bestimmten Richtung stark vorstrecken, andere gegenüberliegende dagegen zurückziehen, gleitet der ganze Protoplast über die Unterlage dahin wie eine Rachtschnecke. Die aus den Sporen gleichartiger Schleimpilze stammenden *Amöben* zeigen unter dem Mikroskop ein ganz überraschendes Verhalten. Wenn zwei oder mehrere dieser kriechenden Protoplasten zusammentreffen, so verschmelzen sie miteinander und fließen zusammen, wie etwa zwei auf dem Wasser schwimmende Öltropfen, die sich zu einem einzigen Tropfen verbinden, ohne daß man die Grenzen der verbundenen Körper weiterhin noch zu erkennen vermöchte. Auf diese Weise können durch Zusammenkriechen und Verschmelzen zahlreicher

Pro. ohne Wimpern = Amöben.

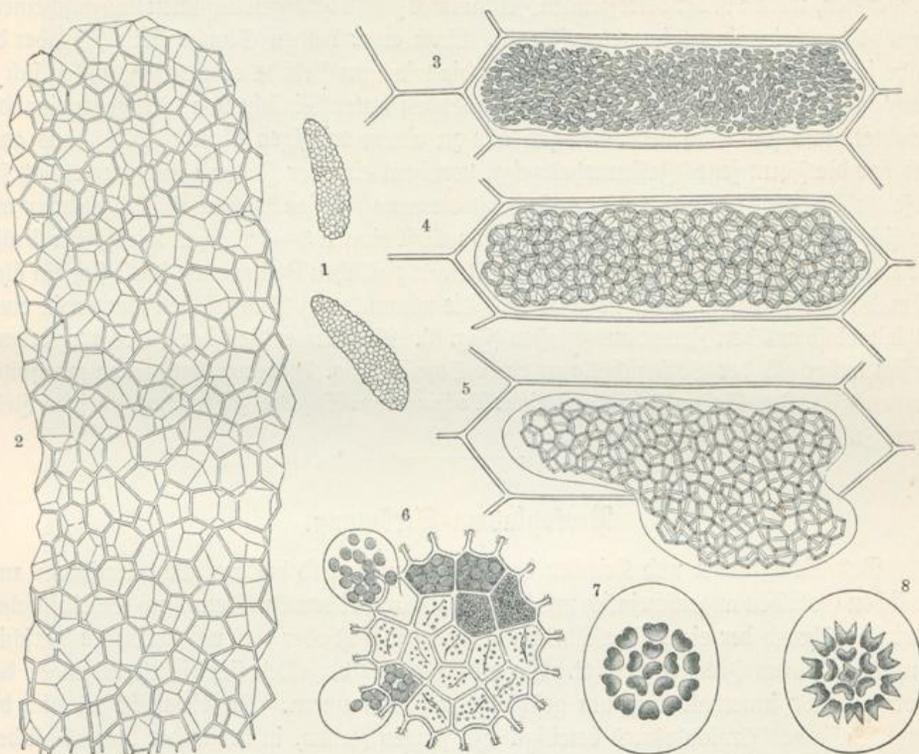
kleiner Protoplasten schleimige Klumpen aus Protoplasma entstehen, welche die Größe einer Hand oder Faust erreichen. Und, was sehr merkwürdig ist, diese schleimigen Massen können selbst wieder ihre Gestalt verändern, Lappen und Stränge wie Arme und Füße ausstrecken und herumkriechen wie die einzelnen Protoplasten, aus deren Vereinigung sie entstanden sind.

Bald bewegen sich diese kriechenden Schleimmassen in der Richtung des einfallenden Lichtes, bald wieder weichen sie dem Licht aus und verbergen sich in dunkeln Räumen, ziehen und spinnen sich durch die Zwischenräume aufgehäufter Rindenstücke oder durch die Hohlräume morscher Baumstrünke, kriechen an Pflanzenstengeln empor oder schleichen als zerflossene Fladen über die schwarze Erde dahin. Sie lösen sich dann nicht selten in Bänder, Schnüre und Fäden auf, welche feste Körper umwallen, sich teilen und wieder vereinigen und vielmaschige Netze oder auch dem „Kuckucksspeichel“ ähnliche schaumige Massen bilden. Die von den Schleimsträngen des Netzes umspinnenen fremden Körper können, wenn sie einen geringen Umfang haben, von dem vorwärts kriechenden Protoplasma mitgeschleppt und, wenn sie Nährstoffe enthalten, auch ausgezogen und aufgezehrt werden. Diese kriechenden Gebilde sind zum Teil farblos, einige aber auch lebhaft gefärbt, zumal der bekannteste aller Schleimpilze, die sogenannte Lohblüte, der eine gelbe Farbe besitzt und einem zerflossenen Eidotter sehr ähnlich sieht.

Als kriechende Bewegung ist auch die Ortsveränderung aufzufassen, die an gewissen Diatomeen, namentlich aus den Gattungen *Navicula*, *Pinnularia* und *Pleurosigma*, beobachtet wird. Das Protoplasma ist bei diesen winzigen Wasserpflanzen nicht nackt, wie das der Schleimpilze, sondern von einer eigentümlichen Hülle umgeben. Diese Hülle, anfänglich aus Zellstoff gebildet, gestaltet sich infolge der Aufnahme von Kieselsäure zu einem förmlichen Panzer, und dieser glashelle, durchsichtige, aber sehr harte Kieselpanzer besteht aus zwei Hälften, die ähnlich wie die beiden Teile einer Schachtel zusammenschließen. Die ganze gepanzerte Zelle hat häufig die Form einer Gondel oder eines Schiffchens mit geschweiftem oder geradlinigem Kiel und mit den mannigfachen Leisten, Rippen und sonstigen Zeichnungen der gepanzerten Wände (vgl. Abbildung, S. 58). Von inneren Kräften getrieben, ziehen diese gepanzerten Schiffchen am Grunde des Wassers oder über feste Körper, die sich im Wasser befinden, ihre Bahnen, langsam und gleichmäßig über die Unterlage hinschleifend oder auch ruckweise und mit ziemlich langen Unterbrechungen sich scheinbar mühsam fortschleppend, einige Zeit eine gerade Richtung einhaltend, nicht selten ohne sichtbaren Grund seitlich abschwenkend und auf einen anderen Weg einlenkend, manchmal auch sich zurückschiebend, vorspringende Gegenstände umfahrend oder diese mit einer ihrer festen, häufig knotenförmig verdickten Spitzen berührend und aus dem Wege stoßend, so daß sie längs des Kieles der kleinen Panzerschiffe vorbeigleiten. Und doch sieht man keine Ruder oder Wimpern aus dem Gefährte vorgestreckt; auch der Kieselpanzer zeigt keinerlei bewegliche Fortsätze, aus denen man diese Bewegungen zu erklären vermöchte. Man glaubt sich aber zu der Annahme berechtigt, daß der in den Kieselshalen der Diatomeen wohnende Protoplast durch Spalten und Poren der Schale doch äußerst feine Fortsätze hervorstreckt, welche die kleine Alge über die Unterlage fortschieben. Andere Forscher glauben, daß Wasserströme aus der Zelle in das Wasser treten und die Zellen vorwärts treiben. Doch bedarf die Aufklärung der Diatomeenbewegung noch weiterer Untersuchungen.

Noch schwerer sind die Bewegungen, welche die Fäden der *Beggiatoa*-, *Oscillaria*- und *Zonotrichia*-Arten vollziehen, zu erklären. An den spangrünen Fäden von *Oscillaria*,

welche aus zahlreichen, kurz-zylindrischen oder scheibenförmigen Zellen zusammengesetzt sind und die, an dem einen Ende festsetzend, mit dem anderen Ende die auffallendsten Bewegungen ausführen, sich bald vorstrecken, bald zurückziehen, sich jetzt schlangenförmig krümmen, dann wieder geradestrecken, vor allem aber kreisend im Wasser herumschwingen, kann man keinerlei äußere Bewegungsorgane beobachten und auch nicht einmal voraussetzen, da die Zellfäden von einer Schleimmembran ganz überzogen sind.



Koloniebildung in den Zellen des Wasserneßes und in denen von Pedastrum: 1 Wasserneß (Hydrodictyon), in natürl. Größe; 2 ein Stück eines Wasserneßes, 50fach vergrößert; 3—5 Entwicklung und Auskriechen einer ringförmigen Kolonie, 300fach vergrößert; 6 Pedastrum granulatum, Entwicklung und Austreten von Kolonien, die punktierten Zellkammern bereits entleert; 7, 8 freigewordene Kolonien von Pedastrum in zwei Entwicklungsstadien, 240fach vergrößert. (Zu S. 36.)

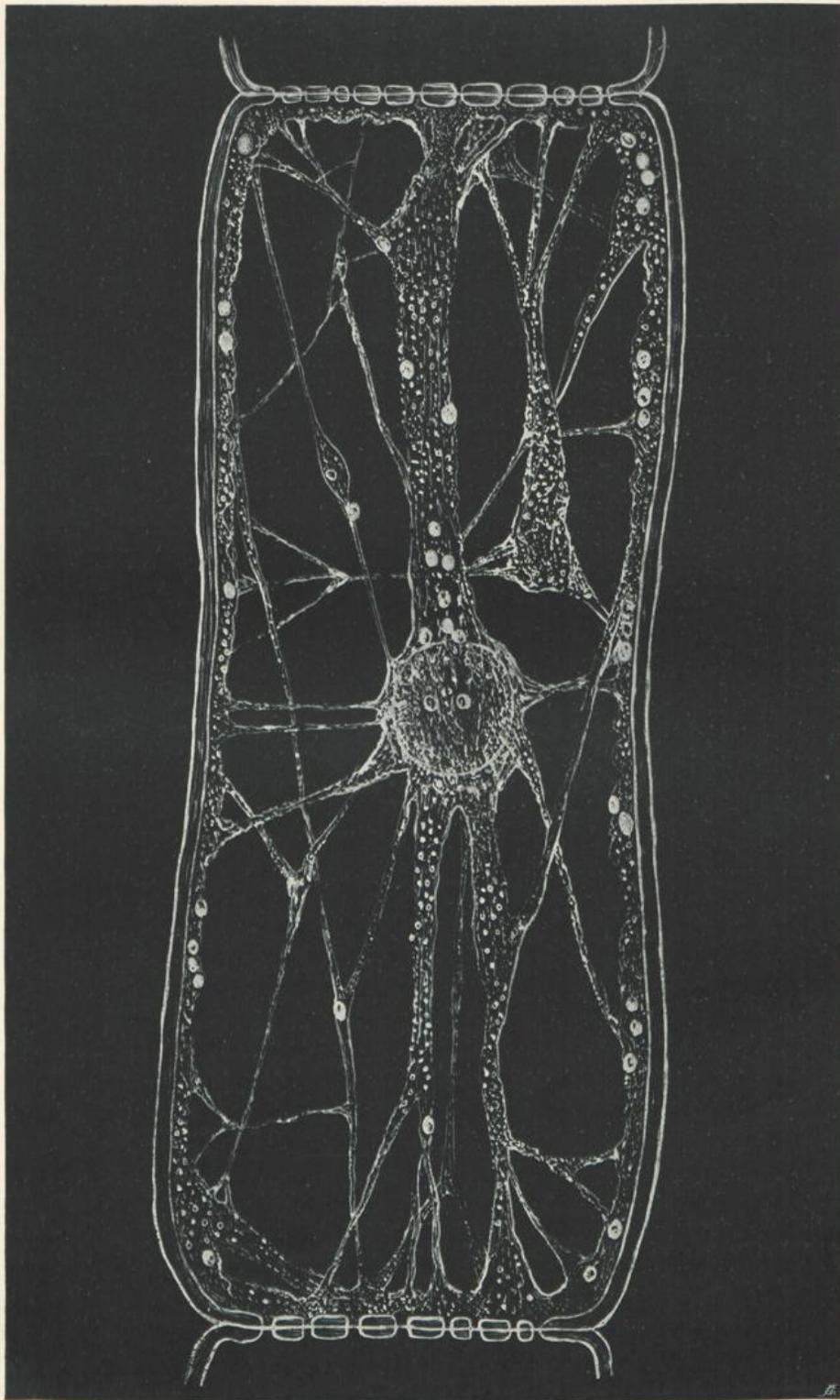
Eine merkwürdige, gleitende Bewegung der Protoplasten innerhalb der Zelle läßt sich bei der Befruchtung einer bei uns häufigen Süßwasseralge beobachten. Wegen ihres schraubenförmigen Chlorophyllbandes heißt sie Spirogyra. Fig. 11 der Tafel bei S. 22 stellt eine Spirogyra-Art bei 300facher Vergrößerung dar. Bei der Befruchtung treiben die Zellen nebeneinander im Wasser schwimmender Fäden kurze Ausstülpungen, die sich endlich berühren. Es entsteht darauf ein offener Verbindungskanal, durch welchen der grüne Protoplast der einen Zelle, der sich von der Wand gelöst und zur Kugel abgerundet hat, zur Nachbarzelle hinübergleitet, um mit dem dort seiner harrenden Protoplasten zu einer kugelförmigen Spore zu verschmelzen. Die Spore bedeckt sich mit einer Membran und kann einen neuen Algenfaden liefern.

Eine wimmelnde Bewegung des Protoplasmas beobachtet man bei mehreren unter dem Namen Protokofkazeen zusammengefaßten Algen, namentlich bei dem sogenannten

Wasserneze, *Hydrodictyon utriculatum*. Das Wasserneze sieht einem aus grünen Fäden gewobenen Fischerneze ähnlich (s. Abbildung, S. 35, Fig. 1). Die meist sechseckigen Maschen dieses Netzes werden aber nicht aus Fäden, sondern aus dünnen, zylinderförmigen Zellen gebildet, die zu drei und drei an ihren Enden verbunden sind, etwa so wie die Bleifassung der sechseckigen, kleinen Glastafeln an gotischen Fenstern (Fig. 2). Der Zellenleib einer dieser Zellen zerfällt nun zur gelegenen Zeit in eine große Menge (7000—20000) winziger Körperchen, welche in der betreffenden Zellkammer sich zu bewegen beginnen und anscheinend regellos durcheinander wimmeln (Fig. 3). Nach einer halben Stunde stellt sich aber die Ruhe in der aufgeregten Masse wieder her; die winzigen Gebilde ordnen sich, stellen sich in Reih' und Glied, je drei und drei mit ihren Enden unter Winkeln von 120° gegeneinander gerichtet, und schließlich verbinden sich alle zu einem winzigen Netze (Fig. 4), das ganz und gar die Form jenes Zellenetzes zeigt, von dem eine der Zellen den Zummelplatz für diese Gebilde abgegeben hatte. Das so gebildete neue winzige Wasserneze schlüpft dann aus der sich öffnenden Zelle heraus (Fig. 5) und wächst binnen 3—4 Wochen wieder zur Größe der mütterlichen Pflanze heran. Bei dem kleinen zierlichen *Pediastrum* spielt sich ein ähnlicher Vorgang in kleinerem Maßstabe ab. Die wimmelnden Protoplasten werden in einer Schleimblase aus den Zellen ausgestoßen (Fig. 6). Nach kurzer Zeit der Bewegung ordnen sie sich außerhalb der Schleimhülle zu einer Scheibe (Fig. 7), deren Randzellen zweispitzig werden (Fig. 8). So entstehen aus einer *Pediastrum*-Scheibe zahlreiche, da jede Zelle ihren Inhalt entleeren kann.

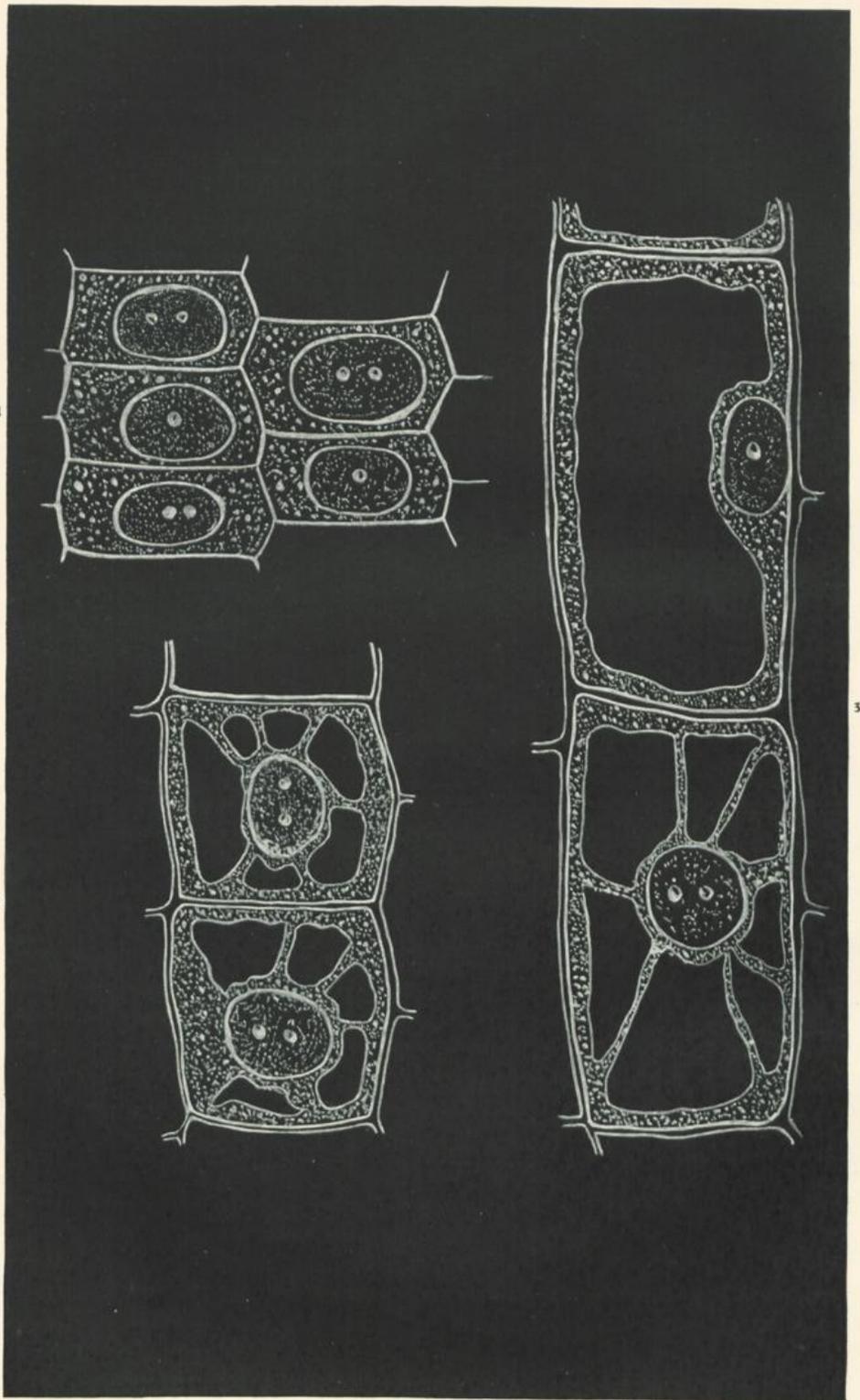
Protoplasma-Strömung.

Das Schwimmen und Kriechen der Protoplasten wird bei den Schwärmersporen und ähnlichen Gebilden augenscheinlich nur durch Geißeln, bei den Amöben durch Scheinfüßchen bewirkt, während der eigentliche Plasmakörper untätig ist oder doch nur geringere Verschiebungen in seinem Inneren erfährt. Wesentlich anders verhalten sich die Bewegungen des Protoplasmas innerhalb ringsum geschlossener Zellkammern. An diesen ist nämlich die ganze Masse des Protoplasmas beteiligt. In jungen Zellen, in denen der Protoplast den Innenraum der Zellkammer ganz ausfüllt, kann freilich von einer lebhafteren Bewegung keine Rede sein; aber späterhin, wenn die Zellkammer sich vergrößert, hält der Protoplast in der Zunahme seiner Körpermasse mit der Vergrößerung seiner Wohnstätte nicht mehr gleichen Schritt. Wohl bleibt er der Innenwand der wachsenden Zellkammer als Wandprotoplasma dicht angeschmiegt, aber der mittlere Teil seines Körpers hat sich durch die erlittene Dehnung gelockert, es bilden sich dort Hohlräume, in denen sich wässrige Flüssigkeit, der sogenannte Zellsaft, ansammelt, und die als Vakuolen bezeichnet werden. Die Protoplastenteile, die zwischen diesen Vakuolen liegen, werden allmählich zu dünnen Scheidewänden derselben ausgedehnt, und schließlich zerreißen auch diese Scheidewände in Stränge, Bänder und Fäden, welche von dem Wandprotoplasma der einen Seite zu jenem der anderen Seite quer durch die Zellkammer gespannt und an den Kreuzungspunkten stellenweise netzartig verbunden sind, und die wir bereits als „Strangprotoplasma“ kennen gelernt haben. Der Zellkern, der in jungen Zellen als eine mit einem punktförmigen Kernkörperchen versehene Kugel mitten im Protoplasma eingebettet lag, erscheint nun, von einer Plasmahülle umgeben, an diesen Fäden in der Zelle aufgehängt.



Protoplasmaströmung in der Zelle eines Kürbishaares.

360fach vergrößert. Nach einer Zeichnung von R. Hansen.



Bildung der Vakuolen und des Strangprotoplasmas in der Zelle.

Nach Zeichnungen von R. Hanfen.

Indem sich aber das Protoplasma im Inneren der wachsenden Zellen in der geschilderten Weise lockert und gliedert, wird es auch beweglich, gerät bei dem Eintritt bestimmter Temperaturen in Fluß, und man erhält nun ein ganz ähnliches Bild wie beim Zerfließen einer durch Erhitzung zum Schmelzen gebrachten Wachsmasse. In größeren Zellen mit dünner und sehr durchsichtiger Zellhaut kann man diese Bewegungen wie durch eine Glaswand sehr schön und deutlich unter dem Mikroskop beobachten, so besonders in den großen Zellen der Blatthaare einer Kürbispflanze, in den Staubadenhaaren von *Tradescantia*-Blüten, in den Wurzelhaaren von *Trianea bogotensis*, einer südamerikanischen Wasserpflanze. Auch die Blattzellen der Wasserpest, *Elodea canadensis*, und die Stengelzellen von *Nitella* sind gute und interessante Objekte. Zumal dann ist die Strömung gut zu sehen.

Bildung der Vakuolen und des Strangprotoplasmas in der Zelle.

nicht immer scharf erkennbare Substanz des Protoplasmas von winzigen Körnchen, den sogenannten Mikrosomen, durchsetzt ist. Diese störnigen werden nämlich ganz ähnlich wie Schlammteilchen, die das Wasser trüben, mit der Strömung fortgeführt und fortgetrieben, und ihre Bewegung zeigt auch die Bewegung des Protoplasmas an, in dem sie eingebettet sind. Das Bild der Gewebezelle auf der Vorderseite der Tafel, welches als allgemeines Bild einer Pflanzenzelle gelten kann, kommt erst langsam beim Heranwachsen der Zellen zustande. Die auf der Rückseite der Tafel stehenden Abbildungen sollen das erläutern. Fig. 1 ist ein Stück ganz jungen Zellgewebes, dessen Zellen immer gänzlich vom Protoplasma und dem Zellkern erfüllt sind und noch keine Hohlräume aufweisen. Es entstehen dann zunächst kleine kugelförmige, mit Zellsaft gefüllte Vakuolen, die durch das Wachstum der Zellen erweitert werden, wie es Fig. 2 darstellt. Entweder verschmelzen die Vakuolen bei weiterem Wachstum zu einem einzigen mit Zellsaft erfüllten Raum (obere Zelle in Fig. 3), oder die Vakuolenwände werden zu dünnen Strängen auseinandergezogen (untere Zelle in Fig. 3). So kann bei der Streckung der Zelle endlich der auf der Vorderseite der Tafel dargestellte verwickelte Aufbau des Protoplasten auf vorwiegend mechanischem Wege zustande kommen.

Größere Körper, wie namentlich die grün gefärbten Ballen, die man Chlorophyllkörper genannt hat, werden in vielen Fällen nicht vorwärts gebracht, sondern bleiben ruhig liegen, und der Protoplasmaströmung gleitet an ihnen vorüber, ohne die geringste Veränderung zu veranlassen. Die äußerste der Zellhaut anliegende Schicht des Protoplasten wird in den meisten Pflanzenzellen in keine sichtbare Bewegung versetzt. In anderen Fällen dagegen kommt aber auch der ganze Protoplast in eine rotierende Bewegung, und es werden dann auch die in seinen Leib eingelagerten größeren Körper, namentlich die Chlorophyllkörper, ähnlich wie Treibholz von einem Wildbache, mit fortgerissen (s. Abbildung, S. 25, Fig. 2 und 3). Das ist dann ein wunderliches Kreisen und Wogen in der ganzen Masse; die Chlorophyllballen jagen bald beschleunigt, bald verlangsamt hintereinander her, als wenn

Bildung der Vakuolen und des Strangprotoplasmas in der Zelle.

Das Bild der Gewebekelle auf der Vorderseite der Tafel, welches als allgemeines Bild einer Pflanzenzelle gelten kann, kommt erst langsam beim Heranwachsen der Zellen zustande. Die auf der Rückseite der Tafel stehenden Abbildungen sollen das erläutern. Fig. 1 ist ein Stück ganz jungen Zellgewebes, dessen Zellen immer gänzlich vom Protoplasma und dem Zellkern erfüllt sind und noch keine Hohlräume aufweisen. Es entstehen dann zunächst kleine kugelförmige, mit Zellsaft gefüllte Vakuolen, die durch das Wachstum der Zellen erweitert werden, wie es Fig. 2 darstellt. Entweder verschmelzen die Vakuolen bei weiterem Wachstum zu einem einzigen mit Zellsaft erfüllten Raum (obere Zelle in Fig. 3), oder die Vakuolenwände werden zu dünnen Strängen auseinandergezogen (untere Zelle in Fig. 3). So kann bei der Streckung der Zelle endlich der auf der Vorderseite der Tafel dargestellte verwickelte Aufbau des Protoplasmas auf vorwiegend mechanischem Wege zustande kommen.

Bildung der Vakuolen und des Strangprotoplasmas in der Zelle.

Nach Zeichnungen von R. Hanfen.

Indem sich aber das Protoplasma im Inneren der wachsenden Zellen in der geschilderten Weise lockert und gliedert, wird es auch beweglich, gerät bei dem Eintritt bestimmter Temperaturen in Fluß, und man erhält nun ein ganz ähnliches Bild wie beim Zerfließen einer durch Erhitzung zum Schmelzen gebrachten Wachsmasse. In größeren Zellen mit dünner und sehr durchsichtiger Zellhaut kann man diese Bewegungen wie durch eine Glaswand sehr schön und deutlich unter dem Mikroskop beobachten, so besonders in den großen Zellen der Blatthaare einer Kürbis-pflanze, in den Staubfadenhaaren von *Tradescantia*-Blüten, in den Wurzelhaaren von *Trianea bogotensis*, einer südamerikanischen Wasserpflanze. Auch die Blattzellen der Wasserpest, *Elodea canadensis*, und die Stengelzellen von *Nitella* sind gute und interessante Objekte. Zumal dann ist die Strömung gut zu sehen, wenn die an und für sich farblose, durchscheinende und gallertige, in ihren Umrissen nicht immer scharf erkennbare Substanz des Protoplasmas von winzigen Körnchen, den sogenannten Mikrosomen, durchsetzt ist. Diese Körnchen werden nämlich ganz ähnlich wie Schlammteilchen, die das Wasser trüben, mit der Strömung fortgeführt und fortgetrieben, und ihre Bewegung zeigt auch die Bewegung des Protoplasmas an, in dem sie eingebettet sind. Man sieht da die Körnchen in unregelmäßigen Ketten, Reihen und Schwärmen in den Strängen des Protoplasmas kreuz und quer durch den Zellraum gleiten und ist wohl zu dem Schlusse berechtigt, daß sich diese Bewegung in der Substanz des Stranges selbst vollzieht. Die Bewegung ist übrigens nicht etwa nur auf vereinzelte Stränge beschränkt; in allen Strängen und Bändern rührt und bewegt sich's, hierhin, dorthin laufen die Körnchenzüge, bald sich vereinigend, bald wieder sich trennend, oft in geringer Entfernung entgegengesetzte Richtungen einschlagend, mitunter sogar in einem und demselben Strang oder Band als zwei Ketten dicht nebeneinander dahinziehend. Die Ströme ergießen sich über das Wandprotoplasma, teilen sich hier in zahlreiche Arme, begegnen und stauen sich, bilden kleine Wirbel, sammeln sich auch wieder und lenken in einen anderen Strang des Protoplasmas ein. Dabei sieht man die einzelnen Körnchen der Züge nach ihrer Größe mit ungleicher Schnelligkeit bewegt; die kleineren gleiten rascher, die größeren langsamer vorwärts; letztere werden häufig von den ersteren überholt, und manchmal stockt dann der ganze Strom. Plötzlich aber werden die gehäuften Körnchen wieder rascher vorwärts gerollt, ganz ähnlich wie die Geröllstücke im Bett eines Flusses, der bald durch eine Enge, bald durch einen flachen Talboden dahinströmt. Dabei bleiben die Bahnen gegen den wässerigen Saft der Zellkammer, durch den sich das Strangprotoplasma hindurchzieht, scharf abgegrenzt, und keins der Körnchen geht jemals aus dem Protoplasmastrang in den wässerigen Zellsaft über (vgl. die beigeheftete Tafel).

Größere Körper, wie namentlich die grün gefärbten Ballen, die man Chlorophyllkörper genannt hat, werden in vielen Fällen nicht vorwärts gebracht, sondern bleiben ruhig liegen, und der Protoplasmaström gleitet an ihnen vorüber, ohne die geringste Veränderung zu veranlassen. Die äußerste der Zellhaut anliegende Schicht des Protoplasten wird in den meisten Pflanzenzellen in keine sichtbare Bewegung versetzt. In anderen Fällen dagegen kommt aber auch der ganze Protoplast in eine rotierende Bewegung, und es werden dann auch die in seinen Leib eingelagerten größeren Körper, namentlich die Chlorophyllkörper, ähnlich wie Treibholz von einem Wildbache, mit fortgerissen (s. Abbildung, S. 25, Fig. 2 und 3). Das ist dann ein wunderliches Kreisen und Wogen in der ganzen Masse; die Chlorophyllballen jagen bald beschleunigt, bald verlangsamt hintereinander her, als wenn

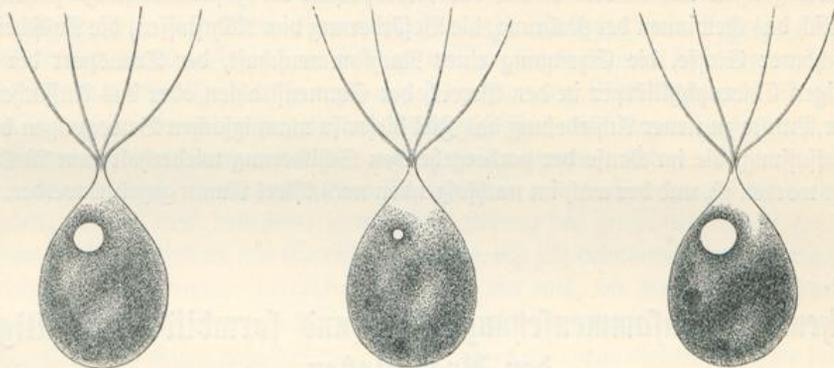
sie sich haschen wollten, und auch ein anderes Gebilde, nämlich der später noch zu besprechende Zellkern, kann dem Andrängen nicht widerstehen, wird von der Strömung mitgerissen, folgt den mannigfaltigen Verschiebungen des verschränkten Netzwerkes aus Protoplasmasträngen, in dem er eingelagert ist, und wird bald längs der Zellwand fortgeschleift, bald wieder von einem Strang ins Schlepptau genommen und quer durch den Innenraum der Zellkammer gezerrt (s. Abbildung, S. 25, Fig. 3).

Wenn man aus der scheinbaren Schnelligkeit, mit der das Forttreiben der Körnchenzüge bei 360facher Vergrößerung stattfindet, die wirkliche Schnelligkeit der Strömung selbst berechnet, so ergeben sich sehr abweichende Werte, die zunächst wohl von der Eigenart des Protoplasmas, dann aber auch von der Temperatur und anderen äußeren Verhältnissen abhängig sind. Die Erhöhung der Temperatur bis zu einem gewissen Grade beschleunigt im allgemeinen die Strömung. In besonders raschem Flusse befindliches Protoplasma legt in der Minute einen Weg von 10 mm zurück, anderes in derselben Zeit den Weg von 1—2 mm, und wieder anderes, das es nicht so eilig hat, kommt in einer Minute nur um ein Hundertstel eines Millimeters vorwärts. Größere Körper, zumal größere Chlorophyllkörper, werden am langsamsten bewegt. So dauert es oft Stunden, bis die der Seitenwand einer Zelle angeschmiegtene Chlorophyllkörper auf die gegenüberliegende Seite derselben Zelle durch das Protoplasma hinübergeschoben werden, obschon dieser Weg nur einen kleinen Bruchteil eines Millimeters beträgt.

Sowohl die kleinen Körnchen als auch die größeren Chlorophyllkörper und der Zellkern sind von dem Protoplasma rings eingehüllt, und man muß sich das Protoplasma, mag es als ein Strang, Band oder Faden erscheinen, einen Wandbeleg bilden oder aber eine ungegliederte Masse darstellen, immer zusammengesetzt denken aus einer äußeren zäheren und dichteren und einer inneren weicheren und flüssigeren Schicht. Die erstere erscheint ohne Einlagerungen, ist ungefört und daher durchsichtiger und macht demzufolge auch den Eindruck einer Haut, von welcher die innere weichere, mit Körnchen durchsetzte und trübe Schicht umkleidet wird. Man bezeichnet diese äußere Schicht besonders als Hyaloplasma. Es wäre aber unrichtig, sich diesen Gegensatz deutlich ausgeprägt zu denken, etwa so, daß die äußerste Schicht von der inneren scharf abgesetzt ist. In Wirklichkeit besteht keine solche scharfe Grenze, und die zähere Hautschicht geht ganz allmählich in das innere weichere, beweglichere und flüssigere Protoplasma über. Daß nun die Körnchen und Ballen, die man in dem strömenden Protoplasma fortgeschoben sieht, sich innerhalb der weicheren Innenschicht bewegen, ist wohl selbstverständlich. Manchmal macht es allerdings den Eindruck, als ob die kleinen Körnchen über einen dünnen Strang des Protoplasmas wie über ein gespanntes Seil von einer Seite auf die andere gleiten würden; bei sorgfältiger Untersuchung aber zeigt sich, daß auch in solchen Fällen die scheinbar auf dem Protoplasmafaden sich fortziehenden Körnchen von der feinen, durchsichtigen Hautschicht des Protoplasmas überzogen sind, daß also auch diese Körnchen, in die Substanz der Protoplasten eingelagert, keine selbständige Bewegung ausführen, sondern von dem sich streckenden Protoplasma fortgeschoben werden.

Jede Strombahn des Protoplasmas ist demnach gegen ihre Umgebung durch eine zähere Schicht abgeschlossen und abgegrenzt. Das schließt aber nicht aus, daß sich die Richtung dieser Strombahnen, in welcher die Körnchenschwärme dahinziehen, verändern kann. Verfolgt man den Lauf eines solchen körnchenführenden Stromes nur ganz kurze Zeit, so

bemerkt man in der That fortwährende Wandlungen; der bisher geradlinige Strom biegt plötzlich seitab, wird breiter, dann wieder schmaler, legt sich an einen anderen an, trennt sich wieder ab, spaltet sich in zwei kleine Arme und verliert sich endlich im Wandprotoplasma. Andererseits erheben sich von dem Wandprotoplasma neue Falten, die sich dehnen und als Bänder durch den Zellenraum auf die andere Seite hinüberschieben, oder es strecken sich Fäden vor, die sich so weit verlängern, bis sie mit anderen Fäden zusammentreffen und sich mit diesen netzförmig vereinigen. Es spielen sich demnach hier teilweise dieselben Vorgänge ab, wie sie an den freien kriechenden Protoplasten beobachtet werden. Denkt man sich einen Protoplasten, welcher, frei über einen ebenen Boden hinkriechend, auf der Wanderschaft begriffen war, eingefangen und in ein ringsum geschlossenes Gefäß eingekerkert, so würde derselbe, über die Innenfläche dieses Gefäßes sich ausbreitend, auszweigend und herumkriechend, ganz denselben Eindruck machen wie die zuletzt geschilderten Protoplasten,



Pulsierende Vakuole im Protoplasma der großen Schwärmsporen von *Ulothrix*.

die schon von ihrer ersten Jugend her eine Zellkammer bewohnen, so wie umgekehrt ein aus seiner Behausung ausgeschlüpfter Protoplast durch das Verschieben, Strecken und Einziehen seiner einzelnen Teile eine Ortsveränderung vorzunehmen imstande sein würde.

Auf Verschiebungen im Inneren der Substanz ist auch das Pulsieren des Protoplasmas zurückzuführen, das man an den schwärmenden Protoplasten gewisser Algen, namentlich der Gattungen *Ulothrix*, *Chlamydomonas* und *Draparnaldia*, beobachtet. In den eiförmigen nackten Protoplasten der erstgenannten Pflanze findet sich nahe dem mit vier Wimpern besetzten kegelförmigen Ende eine Vakuole (s. obenstehende Abbildung), die sich innerhalb 12—15 Sekunden zusammenzieht und dann in den darauffolgenden 12—15 Sekunden wieder erweitert; in den Schwärmern von *Chlamydomonas* sowie in denen von *Draparnaldia* bemerkt man nebeneinander zwei solcher Vakuolen, die in ihren rhythmischen Pulsationen abwechseln, so daß sich immer während des Verengerns der einen die andere erweitert. Die Kontraktion erfolgt oft bis zum völligen Verschwinden der Höhlung und muß, ebenso wie die Erweiterung, auf einer Verschiebung desjenigen Protoplasmateiles beruhen, welcher die Vakuole selbst unmittelbar umgrenzt. Eine solche Bewegung in der Substanz des Protoplasmas, wenn sie auch nur an einem kleinen Teile des ganzen Körpers sichtbar wird, kann aber doch kaum ohne Rückwirkung auf die anderen, entfernter liegenden Teile gedacht werden, und es ist daher vorauszusetzen, daß das Innere der durch schwingende Wimpern

in drehend fortschreitende Bewegung verletzten Protoplasten nicht in jener absoluten Ruhe verharret, wie es bei flüchtiger Betrachtung den Anschein hat.

Bei einem Rückblick auf die geschilderten so mannigfaltigen Bewegungserscheinungen gewinnt man die Überzeugung, daß die Fähigkeit, sich zu bewegen, jedem lebenden Protoplasten zukommt. Die Verschiebung und Umlagerung seiner Masse mag sich in manchen Fällen allerdings so langsam vollziehen, daß es kaum möglich ist, die Größe derselben in Zahlen auszudrücken; zeitweilig kann die Bewegung auch ganz eingestellt werden. Aber bei eintretendem Bedürfnis und unter günstigen äußeren Verhältnissen kommt die Masse immer wieder in Fluß und wird hierbei in betreff der einzuhaltenden Richtung von in ihr selbst frei werdenden Kräften getrieben. Die Erkenntnis der Ziele und das Verständnis der Bedeutung der verschiedenen Protoplasmaabewegungen lassen zwar noch vieles zu wünschen übrig; doch ist in dieser Beziehung die Annahme gerechtfertigt, daß alle diese Bewegungen mit innerer Arbeit der Protoplasten im Zusammenhange stehen, daß namentlich das Gewinnen der Nahrung, die Beförderung von Nährstoffen, die Ausscheidung unbrauchbarer Stoffe, die Erzeugung einer Nachkommenschaft, der Transport der lichtbedürftigen Chlorophyllkörper in den Bereich der Sonnenstrahlen oder das Aufsuchen geeigneter Punkte zu neuer Ansiedelung das Ziel dieser so mannigfachen Bewegungen bildet: eine Auffassung, die im Laufe der vorhergehenden Schilderung wiederholt zum Ausdruck gebracht worden ist, und der auch im nachfolgenden noch öfters Raum gegeben werden wird.

3. Chemische Zusammensetzung, Stoff- und formbildende Tätigkeit der Protoplasten.

Neben der Fähigkeit, sich zu bewegen und Ortsveränderungen vorzunehmen, die Teile des Leibes zu verschieben, sich auszubreiten und zusammenzuziehen, sich zu trennen und mit feinesgleichen zu verschmelzen, besitzt der lebende Protoplast auch noch die Eigenschaft, einzelne Teile seines Körpers bestimmten Berrichtungen anzupassen, in seinem Inneren allerlei chemische Verbindungen auszubilden und diese allenfalls auch auszuscheiden. Die meisten Protoplasten umgeben sich mit einer Zellhaut. In die Hohlräume oder Vakuolen, die im Inneren des sich streckenden und dehnenen Protoplasten entstehen, und aus denen schließlich in älteren Zellen, bei denen der Protoplast nur noch einen tapetenartigen Wandbeleg in seiner Kammer darstellt, eine einzige Mittelhöhle wird (s. Abbildung, S. 25, Fig. 2), scheidet sich Zellsaft aus, eine wässerige Flüssigkeit, welche die verschiedensten Körper, zumal Zucker, Säuren und Farbstoffe, gelöst oder suspendiert enthält. Innerhalb der Substanz des Protoplasmas selbst aber entstehen Körper, welche, eine ganz bestimmte Gestalt annehmend, in ihren Umrissen deutlich erkennbar sind, wie namentlich der Zellkern, die Chlorophyllkörper, die Stärkekörner und noch verschiedene andere Gebilde, deren Bedeutung für das Leben der Pflanze in einem später folgenden Abschnitte dieses Buches eine ausführliche Besprechung finden wird.

Aber unabweislich drängt sich gegenüber solchen vielseitigen Leistungen der Lebendigen Substanz die Frage auf, ob wir uns mit dem Rätselhaften ihrer Natur einfach zufrieden geben müssen, oder ob die moderne Wissenschaft nicht doch imstande ist, wenigstens etwas

über ihre Stoffe und Kräfte auszusagen, was unsere Einsicht vermehrt. Seit es eine Chemie gibt, fragt man bei einer greifbaren Substanz, und das ist das Protoplasma, woraus besteht sie? Der Weg, den die Wissenschaft zur Lösung dieser Frage einschlägt, ist die chemische Analyse. Aber diese wohlausgearbeitete Kunst hilft uns erst, wenn uns der zu analysierende Stoff in genügender Menge zur Verfügung steht. Hier liegt nun die Schwierigkeit. Da das Protoplasma in mikroskopischen Zellen steckt, und auch die nackten Protoplasmaförper, wie die Amöben und Schwärmer, so winzig sind, hält es schwer, sich Protoplasma in genügender Menge für eine Analyse zu verschaffen. Nur die Plasmodien einiger Schleimpilze liefern größere Mengen von Protoplasma, welches aber durch allerlei Beimengungen manche Verschiedenheit von dem Protoplasma der Zellen zeigt. Eine Analyse liefert immerhin das bemerkenswerte Ergebnis, daß das Protoplasma nicht aus unbekanntem Stoffen, sondern aus Elementen und Verbindungen besteht, die auf unserer Erde, in der Luft, im Wasser und in den Gesteinen der Erdrinde die weiteste Verbreitung besitzen, nämlich Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Phosphor und Schwefel, Kalzium, Magnesium und Kalium. Untersucht man, zu welchen Verbindungen diese einfachen Stoffe im Protoplasma vereinigt sind, so ergeben sich ebensowenig Überraschungen. Das Protoplasma besteht zu einem großen Teil aus Eiweißstoffen, mit denen Zuckerarten, Fette, phosphorsaure, schwefelsaure und einige andere Salze gemengt sind.

Zu einem großen Teile besteht das Protoplasma aus Wasser, darum ähnelt es einer Flüssigkeit; aber es stellt doch keine gewöhnliche Lösung der genannten Stoffe im Wasser dar, denn ein Teil derselben, wie Eiweißstoffe, Fette, löst sich bekanntlich gar nicht im Wasser. Wir haben eine sogenannte kolloidale Lösung vor uns, die wohl den Eindruck einer Flüssigkeit macht, aber in der sich die unlöslichen Stoffe mit Hilfe der übrigen, hier mit Hilfe der Salze, in einem aufgelockerten, feinverteilten und gequollenen Zustande befinden. Die Physiker nennen eine solche kolloidale Flüssigkeit nach Graham's Vorschlag seit 1861 „Sol“ oder „Gel“. Ganz und gar scheint aber das Protoplasma anderen Solen auch nicht zu gleichen. Man kommt immer mehr zu der Überzeugung, daß das Protoplasma noch eine besondere Struktur, d. h. innerhalb der flüssigen Anteile festere, mikroskopisch kleine Häutchen besitze, die in gewöhnlichen Flüssigkeiten nicht vorhanden sind. Während die chemische Zusammensetzung des Protoplasmas uns gar nichts zur Aufklärung seiner Lebenserscheinungen sagt, können wir wohl voraussehen, daß eine molekular so absonderlich gebaute Substanz ganz andere als die von Flüssigkeiten bekannten physikalischen Eigenschaften aufweist. In früheren Zeiten versuchte man die überraschenden Leistungen des Protoplasmas durch Annahme einer ihm eigenen Kraft, der Lebenskraft, zu verstehen. Aber die Lebenskraft ist keine Erklärung, sondern bedeutet vielmehr einen Verzicht auf wissenschaftliche Einsicht. Es ist dasselbe, als wenn man die Bewegung einer Lokomotive durch Annahme einer „Lokomotivkraft“ erklären wollte, anstatt durch die Theorie der Dampfmaschine. Wir wissen, daß Maschinen in Gang geraten durch Einwirkung von Kräften oder, wie wir heute vorziehen zu sagen, von Energie auf gegebene Strukturteile der Maschine. Auch das Leben ist offenbar nichts anderes als ein Energiewechsel in einem Apparat, den die Natur hervorbringt, dem lebenden Körper, der an Stelle von Hebeln und Rädern aus Zellen besteht. Daß ein Energiewechsel in Zellen andere Resultate bringt als in einer Maschine, ist wohl einzusehen, darum können die Kräfte doch die gleichen sein. Dieser Standpunkt hat die Biologie seit hundert Jahren zu immer neuen und weiteren Einsichten

$P_n =$
C, H, O, N, P,
S, K, Mg, Ca

in das Lebensgetriebe geführt. Wenn schon nach dieser kurzen Spanne einzelne Forscher, denen der Fortschritt der physikalisch-chemischen Betrachtungsweise zu langsam erscheint, wieder zur Erklärung durch „Lebenskräfte“ zurückkehren, so ist das ein offener Rückschritt, ein Mangel an Geduld und Mut. Ehe wir das Leben erklären wollen, müssen wir es in allen seinen Erscheinungen gesehen haben, und dieser Weg ist noch lang. Es liegt uns noch sehr ob, nicht die Ursachen der Protoplasmatätigkeit, sondern diese Arbeitsleistungen selbst genau zu studieren.

In der Natur der Sache liegt es, daß bei den Pflanzen unter diesen Arbeitsleistungen schon der Aufbau der Zellhaut und der aus ihr hervorgehenden Zellkammer die größte Mannigfaltigkeit zeigt; denn die Hülle, mit der sich ein einzelner Protoplast umgibt, soll gleichzeitig ein Schutz für seinen weichen Körper und eine kräftige Stütze für weitere Anbauten sein, und dabei doch die Wechselwirkung mit der Außenwelt und den Verkehr der in benachbarten Kammern wohnenden Protoplasten nicht beschränken. Die Wandungen der Zellen sind darum auch ganz wunderbare Erzeugnisse, und es wird auch von ihnen, zumal von der Bedeutung ihrer verschiedenen Konstruktionen für bestimmte einzelne Fälle, noch mehrfach die Rede sein. Hier genügt es, darauf hinzuweisen, daß die erste Anlage einer solchen Hülle, die aus dem Leibe des Protoplasten ausgeschieden wird und anfänglich als dünnes Häutchen erscheint, aus einem Stoffe besteht, der aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff zusammengesetzt ist, zu den Kohlenhydraten gehört und Zellstoff oder Zellulose genannt wird. Vor ihrer Ausscheidung an einer Oberfläche des Protoplasten muß die Zellulose in irgendeiner unerkennbaren Form im Protoplasma verteilt gewesen sein.

Auf diese erste Hülle, welche sich der Zellenleib selbst bildet, paßt der Name Zellhaut, den sie gemeinlich führt, ganz gut. Diese erste Umhüllung erfährt aber nachher mancherlei Veränderungen. Der Protoplast kann Korkstoff, Holzstoff, Kieselsäure, Wasser in größerer oder geringerer Menge in die Haut einlagern und dadurch die Hülle entweder noch schmiegsamer machen, als sie es in der ersten Anlage war, oder sie verhärten und versteifen und zu einem sehr festen Gehäuse ausgestalten. Auch die ursprüngliche Form bleibt selten erhalten. Der einzelne Protoplast, der sich mit Zellhaut umgibt, hat zunächst die Form eines rundlichen Ballens, und auch seine dicht anliegende Haut hat eine dementsprechende Gestalt. Gruppenweise vereinigte jugendliche Zellen zeigen häufig Anrisse, die an Kristallformen, namentlich an Dodekaeder, Würfel und kurze Prismen, erinnern; der Protoplast aber, der sich die erste zarte Hülle geschaffen hat, kommt nicht zur Ruhe, er arbeitet still und stetig an seiner Haut fort und fort, weitet sie aus, verdickt sie, macht aus den anfänglich kugeligen oder würfelförmigen Zellen röhren-, säulen- und faserförmige oder auch platten- und tafelförmige Zellen und verstärkt deren Wandungen mit feinen Pilastern, Leisten, Rippen, Spangen, Bändern von verschiedener Form. Arbeiten mehrere Protoplasten in geselligem Verband an einem vielkammerigen Pflanzengebäude, so entstehen dicht nebeneinander Kammern der verschiedensten Gestalt, niemals aber ziel- und planlos, sondern immer so, daß jede von ihnen der gegebenen Lage und der bei dem gemeinsamen Haushalt ihr zuteil gewordenen besonderen Aufgabe entsprechend ausgestattet ist.

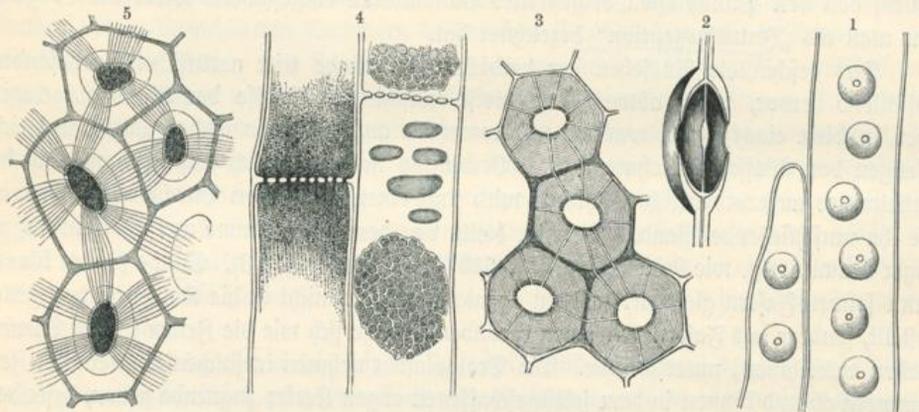
Die Vergrößerung des Raumes der Zellkammer oder, was dasselbe sagen will, die Vergrößerung des Flächeninhaltes der Wandungen der Zellen erfolgt dadurch, daß zwischen die Teilchen der Substanz, aus denen die erste Anlage dieser Wandungen

besteht, und die zusammenhängend die dünne Haut des Protoplasten bilden, neue solche Teilchen eingeschoben werden. Wenn diese eingeschobenen Teilchen in dieselbe Fläche zu liegen kommen, in der schon die ersten nebeneinander gelagert waren, so wird die durch solche Bautätigkeit erzeugte Zellwand ihren Umfang vergrößern, ohne dabei an Dicke zu gewinnen. Wenn aber einmal die Zellkammern ihrem Umfange nach ausgewachsen sind, muß ihre Wand, um später besonderen Aufgaben nachkommen zu können, durch die Bautätigkeit der Protoplasten häufig auch verstärkt und verdickt werden. Diese Verdickung macht den Eindruck, als ob auf die erste dünne Wand nacheinander mehrere Schichten nach Bedarf, wie Tapeten, aufgelagert würden, und in manchen Fällen entspricht der Vorgang, den man „Apposition“ nannte, gewiß auch diesem Bild; in vielen anderen Fällen wird aber die Masse der Wand dadurch verdickt, daß zwischen die schon vorhandenen Teilchen neues, von den Protoplasten beigelegtes Baumaterial eingeschoben wird: ein Vorgang, den man als „Intususszeption“ bezeichnet hat.

Das geschichtete Aussehen der verdickten Zellwände tritt natürlich dann besonders auffallend hervor, wenn abwechselungsweise verschiedene Stoffe der Wand aufgelagert oder in diese eingeschaltet wurden, und wenn die aufeinanderfolgenden Lagen ungleiche Mengen von Wasser aufnehmen. Die Verdickung kann schließlich dahin führen, daß der Zellenraum außerordentlich beschränkt wird und einen geringeren Durchmesser besitzt als die ihn umschließende Wand. Mitunter bleibt von dem Zellenraume nur noch ein äußerst enger Kanal übrig, wie bei Bastfasern (s. Abbildung, S. 44, Fig. 3). Solche Zellen können dann soliden Fasern gleichen, wurden ehemals auch gar nicht in die Kategorie der Zellen gestellt, sondern als Fasern von jenen Gebilden, welche sich wie die Zellen in den Bienenwaben ausnehmen, unterschieden. Die Protoplasten nehmen in solchen eingeengten Zellkammern ab und können in dem selbstgeschaffenen engen Kerker zugrunde gehen, besonders dann, wenn die sehr verdickten Wandungen einen Verkehr mit der Außenwelt schließlich nicht mehr gestatten. Gewöhnlich aber sorgt der Protoplast beim Ausbau seiner Behausung dafür, daß er nicht vollständig eingesargt und nicht dauernd von der Umgebung abgeschnitten wird, indem er schon von Anfang an in den Wänden seiner Behausung offene, aber für seine Protoplasmafäden leicht durchdringbare Öffnungen freiläßt.

In vielen Fällen werden von dem Protoplasten die neuen Teilchen von Zellstoff, welche die dünne erste Zellhaut verstärken sollen, nicht der ganzen Fläche entlang gleichmäßig aufgelagert, sondern etwa so, wie wenn man auf der Tapete einer Zimmerwand stets neue, aber mit kreisförmigen, spaltenförmigen oder streifenförmigen Löchern versehene Tapeten aufkleben wollte. Dann bleiben einzelne kleine Stellen unverändert, und diese nehmen sich nachträglich in der verdickten Wandung wie Fensterchen dieser Kammer aus. Dabei zeigt der Teil der verdickten Wand, welcher das Fensterchen unmittelbar umgibt, häufig eine ganz eigentümliche Ausbildung. Es erhebt sich nämlich die Umgebung des Fensterchens, welches der Botaniker „Lüpfel“ nennt, als eine ringförmige Leiste und bildet schließlich eine in der Mitte durchlöchernte uhrglasförmige Kuppel über der dünnen Stelle der Zellwand (s. Abbildung, S. 44, Fig. 1). Auch von der gegenüberliegenden, der benachbarten Zellkammer zugewendeten Seite erhebt sich eine solche Ringleiste, und die dünne Zellwandstelle erscheint dann auf beiden Seiten symmetrisch wie von Schirmen überwölbt, von denen jeder in der Mitte eine runde Öffnung hat (Fig. 2). Stellt man sich vor, daß jemand aus der einen in die andere Kammer gelangen wollte, so

müßte er zuerst das Loch in dem einen Schirme passieren, würde dann in einen erweiterten Raum, den wir Hof nennen wollen, gelangen, müßte dann das im Mittelfeld etwas dickere, im übrigen äußerst zarte und dünne Häutchen durchbrechen, käme dann wieder in einen Hof und erst aus diesem durch das Loch des gegenüberliegenden Schirmes in den Raum der angrenzenden Zellkammer. Von vorn gesehen, erscheint der Umriß einer jeden Kuppel und jener der beiden Höfe gewöhnlich als eine Kreislinie, und die gegenüberliegenden Löcher in den Schirmen, die genau auf das Zentrum dieses Kreises treffen, nehmen sich wie ein heller Punkt oder Tüpfel aus, welcher von der die Fläche des Hofes bezeichnenden Kreislinie eingefasst wird. Man hat darum auch diese sonderbaren Bildungen, die in der geschilderten Form (s. untenstehende Abbildung, Fig. 1 und 2) besonders schön an Holz-
zellen von Koniferen zu sehen sind, gehöfte Tüpfel oder Hofstüpfel genannt.



Verbindungen benachbarter Zellräume: 1 Hofstüpfel in Fasern (Tracheiden) des Koniferenholzes; 2 Durchschnitt durch einen Hofstüpfel; 3 Verbindung benachbarter Zellen in der Gefäßbündelscheibe von Scelopondrium; 4 Siebröhren; 5 Zellgruppe aus dem Samen der Brechnuß, die Protoplasten der benachbarten Zellkammern durch feine Protoplasmafäden verbunden. (Zu S. 43—45.)

Dort, wo sich solche Hofstüpfel ausgebildet haben, ist die Verdickung der Zellhaut verhältnismäßig schwach. In anderen Fällen dagegen wird die Zellhaut um das Zwanzig-, Dreißigfache dicker, als sie anfänglich war, und dadurch wird der Innenraum der Zellkammer bedeutend verkleinert (Fig. 3). Wenn aber die Zellwand allmählich auch hundertfach so dick wird, wie sie in der ersten Anlage war: niemals wird die Stelle, an der einmal im Beginne die Verdickung ausgeblieben ist, nachträglich mit Zellstoff ausgefüllt und zugemauert, sondern sie wird von dem bauenden Protoplasten stets sorgfältig offen gehalten. Eine solche stark verdickte Wand könnte dann mit einer Mauer verglichen werden, die von ganz engen Kanälchen durchsetzt ist. Stoßen zwei Zellkammern aneinander, deren dicke Wände mit derartigen Kanälen versehen sind, so treffen regelmäßig auch die der einen auf jene der benachbarten Kammer, und es entstehen dann verhältnismäßig sehr lange Kanäle, welche durch die beiden aneinander liegenden dicken Zellwände hindurchgehen und die nachbarlichen Zellkammern verbinden (s. obenstehende Abbildung, Fig. 3). In der Mitte ist ein solcher Kanal allerdings noch durch die ersten Zellhautanlagen wie durch eine Schleuse gesperrt, später aber kann auch diese zarte Schleuse durch Auflösung geöffnet werden, und es stehen dann die Nachbarzellen durch den Kanal in offener Verbindung.

In besonderen Fällen wird für eine solche offene Verbindung zwischen benachbarten

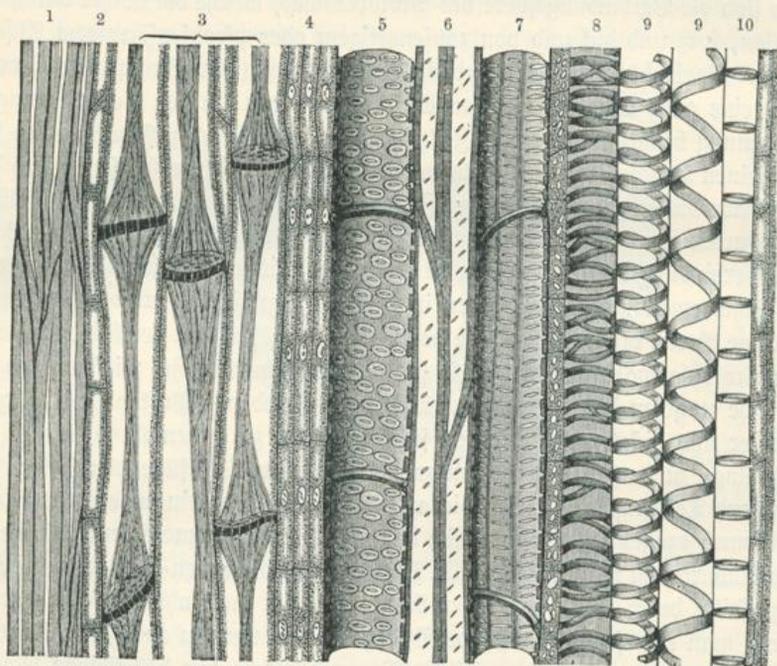
Zellen schon bei der ersten Anlage der als Scheidewand dienenden Zellhaut gesorgt. Größere oder kleinere Abschnitte dieser Wand werden nämlich sehr bald siebförmig durchbrochen, wie das in einem schematischen Bilde (Fig. 4) an Stücken röhrenförmiger Zellen, die man Siebröhren genannt hat, zur Anschauung gebracht ist. Die Löcher, an den durchbrochenen Wandstücken der Siebröhren dicht zusammengedrängt, sind verhältnismäßig weit und kurz, und wenn sich die beiden nachbarlichen Protoplasten durch diese Löcher die Hände reichen, d. h. wenn das Protoplasma der einen mit dem der anderen Zellkammer durch die Sieblöcher hindurch in Verbindung steht (vgl. auch die Figur auf S. 46), so sind die Verbindungsstücke des Protoplasmas, welche die Löcher durchsetzen und sie ausfüllen, kurz und dick und von zapfenartigem oder pfropfenförmigem Ansehen.

Neuere Beobachtungen haben jedoch die Verbindung der Protoplasten benachbarter Zellen als eine ganz allgemeine, wenn auch nur mit den stärksten Vergrößerungen sichtbare Erscheinung bestätigt. Auch die Zellwände der gewöhnlichen Gewebezellen sind von unendlich feinen Kanälen durchbohrt, besonders in den Lückenverschlüssen, durch die feine Protoplasmaverbindungen von Zelle zu Zelle gehen (Fig. 5). Durch diese Kanäle können die benachbarten Protoplasten miteinander in Verbindung treten oder vielleicht, besser gesagt, in Verbindung bleiben; denn es ist sehr wahrscheinlich, daß schon bei der ersten Anlage der Scheidewand, welche in einen in Teilung begriffenen Protoplasten eingelagert wird, winzige Poren offen bleiben, die von Verbindungssträngen der beiden auseinander-rückenden Protoplasmahälften ausgefüllt sind. Und in dem Maße, wie dann die Scheidewand, welche zwischen den beiden durch Teilung entstandenen Protoplasten ausgeschieden wurde, dicker und dicker wird, gestalten sich die Poren zu feinen Kanälen und die Verbindungsstränge zu langen und äußerst zarten, diese Kanäle erfüllenden Fäden. Ähnlich einem Dutzend Telegraphendrähten, die aus einem Gefäß in ein anderes durch eine dicke Mauer hindurchgezogen sind, spinnen sich dann diese Protoplasmafäden durch die verdickte Zellwand hindurch; ja meistens sind alle Protoplasten, die neben- und übereinander wohnen, gegenseitig durch solche nach allen Richtungen hin ausstrahlende Fäden verkettet.

Wenn man nun festhält, daß jede Pflanze einmal nur ein einziges winziges Protoplasmaflümpchen war, indem der riesigste Baum gerade so wie das kleinste Moos seinen Ausgangspunkt in dem Protoplasma einer Eizelle oder einer Spore findet, und wenn man denkt, wie aus dieser sich vergrößernden ersten Zelle zunächst zwei Zellen, dann durch wiederholte Teilung vier, acht, sechzehn und allmählich Tausende von Zellen entstehen, deren Zellenleiber aber sämtlich durch feine Protoplasmafäden verbunden bleiben, so gelangt man notwendig zu der Vorstellung, daß die Protoplasma-masse, welche in all den Tausenden zu einer Genossenschaft verbundener Zellen eines Baumes lebt, doch nur eine einzige ist und bleibt und durch die siebartig durchbrochenen Scheidewände eigentlich nur in Fächer geteilt wird. Jedes Glied dieser Genossenschaft bewohnt ein besonderes Fach, eine besondere Kammer und wird von einem Zentralorgan, dem Zellkern, beherrscht, hängt aber durch die Verbindungsfäden mit den Genossen zusammen und ist durch diese Verbindungsfäden auch in den Stand gesetzt, mit seinen Genossen zu verkehren, z. B. Stofftransport und Reizleitung zu übernehmen.

Sehr häufig ist die Tätigkeit der Protoplasten auch eine auflösende. Es werden die Zwischenwände zwischen Zellen aufgelöst, wodurch dann offene Röhren verschiedener Form entstehen, die man allgemein Gefäße nennt. Diese Gefäße enthalten später keine Protoplasten

mehr, sondern nur Luft und zuzeiten auch Wasser. Sie würden daher durch den Druck der umgebenden Zellgewebe zusammengedrückt werden, wenn sie nicht durch Aussteifungsvorrichtungen offengehalten würden. Diese Steifungsvorrichtungen bestehen aus ringförmigen oder spiralförmigen Zellulosebändern, mit denen die Röhrenwand bekleidet ist. In anderen Fällen sind leistenförmige Verdickungen angebracht, oder die Wände sind auch ganz und gar verdickt, so daß nur tüpfelförmige dünne Stellen auf der Wand übrigbleiben. Danach unterscheidet die Anatomie Ring-, Spiral-, Tüpfelgefäße usw. (s. die untenstehende Abbildung). Diese Formen bilden fadenförmige Stränge im Stengel.



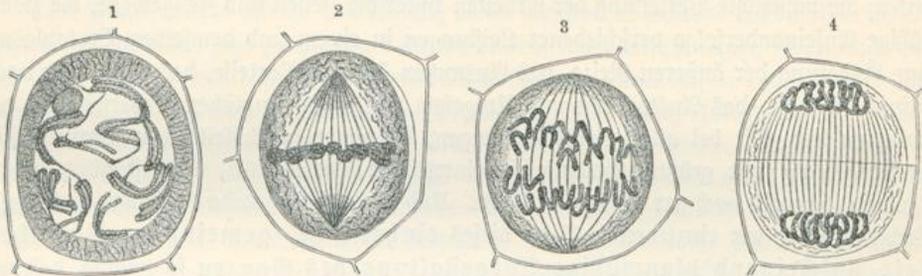
Längsschnitt durch ein dikotyles Gefäßbündel (stark vergrößert): 1 Bastfasern; 3 Siebröhren mit ihren Geleitzellen; 2, 4 Kambiumzellen; 5—7 Tüpfelgefäße verschiedener Form, 6 Holzfasern; 8 leiterförmiges Gefäß; 9, 9 Spiralfgefäße; 10 Ringgefäß.

In anderen Fällen der Ausbildung dagegen haben die Seitenwandungen der zu Röhren vereinigten Zellen keine Verdickungen, sind zart und weich und haben das Ansehen geschmeidiger Schläuche. Diese Schläuche werden auch von den Protoplasten nicht verlassen, sondern, nachdem die Vereinigung mehrerer Zellen zu einem Schlauche stattgefunden hat, verschmelzen sofort auch die Protoplasten der nachbarlichen Zellen, und der ganze Schlauch ist dann auch mit einer einzigen ununterbrochenen, meistens als Wandbeleg sich darstellenden Protoplasmanasse erfüllt, die nun allerlei Ausscheidungstoffe in dem Schlauche anhäuft. Diese Stoffe sind Emulsionen und haben ein milchähnliches Aussehen. Man nennt sie daher Milchjäste, die Röhren selbst Milchröhren. Beim Verlegen der Pflanzen treten sie als Flüssigkeit hervor, z. B. bei Löwenzahn, Mohn, den Wolfsmilcharten. Zuweilen sind die Milchjäste auch gelb gefärbt, z. B. bei Schöllkraut (*Chelidonium majus*).

Aber nicht nur als Baumeister der Formen der Zellgewebe tritt der Protoplast in Tätigkeit. Er ist auch der stoffbildende lebendige Leib der Zelle. Gerade bei der Abscheidung von

Zellwänden und ihrem Dickenwachstum lagert der Protoplast in die Zellulosemembranen noch andere Stoffe ein, die diesen Membranen oft in ganzen Geweben besondere Eigenschaften verleihen. So verleiht die Einlagerung von Holzstoff (Lignin) den Zellen den Charakter des Holzes, von Korkstoff (Suberin) den Charakter des Flaschenkorkes, dessen Zellen bekanntlich, wie seine Verwendung zum Verschluss von Flaschen lehrt, weder Wasser noch Wasserdampf mehr durchlassen. Wenn also von den anfangs gleichartigen Zellen eines Stengels ganze Schichten später andere Leistungen übernehmen als andere, so ist es das Protoplasma, welches sie dazu mit ihren Eigenschaften ausstattet.

Die Beobachtung führt uns nun noch weiter und läßt den im Protoplasten immer sichtbaren sogenannten Zellkern gewissermaßen als ein Zentralorgan des Zellenleibes erscheinen, welches nicht nur die Tätigkeit des einzelnen Protoplasten innerhalb der von ihm bewohnten Zellkammer beeinflusst, sondern durch alle in ihm zusammenlaufenden Stränge und Fäden auch mit den Nachbarn in Fühlung bleibt. Gerade



Veränderungen des Zellkernes bei der Teilung desselben: 1 die Kernfäden im ganzen Kerne verteilt, 2 die verdichteten Kernfäden zur Kernplatte geordnet, 3 die Elemente der Kernplatte auseinandergerückt, 4 dieselben an den Polen des Zellkernes zwei Knäule bildend. (Nach Guignarb.)

diese letztere Auffassung gewinnt durch den Nachweis eine Stütze, daß ähnliche Fäden, mit denen benachbarte Protoplasten in Verbindung stehen, durch eigentümliche Umgestaltungen in der Substanz des Zellkernes selbst entstehen. Wenn nämlich ein Protoplast, der eine Zellkammer bewohnt (s. obenstehende Abbildung, Fig. 1), sich bei der Zellvermehrung in zwei Protoplasten teilen soll, so geht dies in der Weise vor sich, daß sich der Zellkern in die Mitte seiner Behausung stellt, und daß in seiner Substanz zunächst eigentümliche Linien und Streifen erkennbar werden, die ihm das Aussehen geben, als bestünde er aus einem Ballen zusammengedrängter Stäbchen, Fäden und Schnüre. Diese Fäden teilen sich alsbald in kurze Stücke, die sich nach Längsteilungen zu U-förmigen Gestalten krümmen. Aus der übrigen Kernmasse sind zugleich zarte, feine Fäden entstanden (Fig. 2 und 3). Diese Fäden nehmen allmählich eine Lage ein wie etwa die Meridiane auf einem Globus. Dort, wo auf dem Globus der Äquator liegt, hatten sich die krummen Fadenstücke angesammelt, beginnen aber langsam auseinanderzurücken, den Polen des Kernes zu. Hier angelangt, verschmelzen dann die Fadenstücke wieder und ziehen sich zu dichten Knäueln zusammen, um den sich die Kernmasse wieder sammelt (Fig. 4). Alsdann wird plötzlich eine Scheidewand aus Zellstoff zwischen die beiden neuen Kerne eingeschaltet, und aus der einen Kammer sind zwei Kammern entstanden. Ebenso sind jetzt aus dem Protoplasten, dessen Zentrum der Zellkern bildete, zwei Protoplasten geworden, deren jeder wieder seinen besonderen Zellkern als Zentralorgan hat, und welche jetzt nebeneinander als Nachbarn

in ihren Kammern weiterleben. Es ist nicht unmöglich, daß bei diesem Teilungsvorgange die Masse des Zellkernes durch die sich einlagernde Zellwand nicht vollständig zerschnitten wird, sondern daß sich, wie schon früher erwähnt wurde, in dieser Zellstoffwand winzige Poren offen erhalten und die beiden benachbarten Protoplasten durch feine, in diese Poren eingelagerte Fäden miteinander verbunden bleiben und dadurch miteinander in Wechselwirkung treten müssen. Wie aber auch die Verbindungsfäden entstehen mögen, erst durch diese von vornherein angebahnte Verbindung der Protoplasten versteht man einigermaßen, daß eine Pflanze als ein einheitlicher Organismus erscheint, dessen unzählige Protoplasten dem gemeinsamen Zweck der Erhaltung des Ganzen dienen.

Die materielle Grundlage zu einer Verständigung der Protoplasten könnten wir uns auf diese Weise ziemlich klar vorstellen. Aber der Vorgang der Verständigung selbst, die Art und Weise, wie die Zellkerne nicht nur in ihren engsten Kreisen regieren, sondern wie auch die Protoplasten mit den Genossen zum Besten des Ganzen harmonisch zusammenwirken, die passendste Verteilung der Arbeiten unter die Zellen und Zellgewebe, die zweckmäßige Aufeinanderfolge verschiedener Leistungen in einem und demselben Protoplasma ohne Änderung der äußeren Reize, das Ausnutzen äußerer Vorteile, das Abwehren nachteiliger Einflüsse, das Ausweichen und Umgehen von unbezwinglichen Widerständen, das Einhalten der Zeit bei allen Arbeitsleistungen, die unter gleichbleibenden Verhältnissen der Umgebung mit größter Genauigkeit eintretende Periodizität, das ist alles äußerst schwierig, ja meist noch gar nicht zu erklären. Und dennoch ist gerade die Frage nach dieser Wechselwirkung der einzelnen Zellen, dieses einheitliche, gemeinsame Vorgehen, diese anscheinend planmäßige Ausgestaltung des Ganzen so wichtig, daß wir dieselbe nicht umgehen dürfen, selbst dann nicht, wenn wir uns bei dem Versuche, sie zu beantworten, ganz und gar auf dem Boden von Hypothesen bewegen.

Auf alle Fälle müssen wir bei jedem derartigen Erklärungsversuche daran festhalten, daß die fragliche Verständigung sowie auch die infolge dieser Verständigung sich abspielenden Vorgänge der Ernährung, des Wachstums und der Gliederung der ganzen Pflanze auf feinsten atomistischen Wirkungen in dem lebenden Protoplasma, auf Bewegung der kleinsten Teile, auf Anziehung und Abstoßung, auf Schwingungen und Verschiebungen der Atome und auf Umordnung jener Atomgruppen, die man Moleküle nennt, zurückzuführen sind, und daß diese Bewegungen die Ergebnisse von Kräftewirkungen, insbesondere von Wirkungen der Schwerkraft, des Lichtes und der Wärme, darstellen. Da aber die Erfahrung zeigt, daß Schwere und Licht, wenn sie auch unter denselben Bedingungen auf das lebende Protoplasma wirken, in diesem dennoch verschiedene Erscheinungen veranlassen können, was später noch mehrfach zur Erörterung kommen wird, so ist diese Kräftewirkung vielfach nur als eine anregende und nicht immer als eine zwingende, als eine die Gestalt bestimmende aufzufassen. Es ist für diese durch äußere Reize angeregten Vorgänge charakteristisch, zumal dann, wenn sie sich in dem zusammenhängenden Protoplasma einer größeren Zellengenossenschaft abspielen, daß sich gröbere, augenfällige Bewegungen sehr oft an Gliedern einer Pflanze zeigen, welche verhältnismäßig weit von dem Teil entfernt sind, auf den der Reiz unmittelbar eingewirkt hat. Wir dürfen uns das wohl vorläufig so vorstellen, daß der Reiz, die Veranlassung zur Bewegung, durch die Protoplasmafäden von Zelle zu Zelle, von Atom zu Atom fortgepflanzt wird. Das große Rätsel liegt nun aber, wie schon bemerkt, darin, daß sich die atomistischen und molekularen

Bewegungen, welche durch solche Reize angeregt und durch die Verbindungsfasern fortgepflanzt werden könnten, in der Pflanze, dem jeweiligen Bedürfnis entsprechend, vollziehen, so daß von den vereinigten Protoplasten einer Pflanze jeder gerade dasjenige Geschäft übernimmt und ausführt, welches dem Ganzen am meisten frommt, und daß die Gesamtleistung den Eindruck einer einheitlichen Leitung, den Eindruck einer zielbewußten, planmäßigen Arbeit macht. Wir sagen ausdrücklich nur: den Eindruck, denn einen tieferen Einblick in die Regulierung der Lebensvorgänge haben wir nicht.

Hier stellen sich uns Fragen und Probleme entgegen, welche den größten Reiz auf den Forscher ausüben, denen er mit aller seiner Phantasie, seiner Logik, seiner experimentellen Methodik zu Leibe geht, die er sich aber hüten wird, mühelos durch die Annahme einer nicht nachweisbaren Lebenskraft oder gar einer Pflanzenpsyche zu umgehen. Wissenschaft befaßt sich nur mit dem, was man weiß und wissen kann, jene Ansichten sind daher keine Wissenschaft, sondern Dichtung.

Die Frage, welche wir an den Anfang dieses Abschnittes stellten: Was ist das Leben? können wir nach den jetzt gemachten naturwissenschaftlichen Erfahrungen, wenn auch nicht endgültig, so doch etwas besser beantworten als zu Anfang. Eines wissen wir ganz bestimmt: alles Leben und alle seine Erscheinungen, Ernährung, Wachstum, Fortpflanzung, Zellen- und Gewebebildung, Stoffherzeugung wie Stoffausscheidung sind immer an Protoplasma gebunden. Ohne Protoplasma kein Leben. Töten wir das Protoplasma, so ist auch der Organismus tot, verlieren einzelne Gewebemassen eines Organismus ihr Protoplasma, so bilden sie nur noch tote Bestandteile desselben. Aber auch daß die Protoplasten immer in Form der Zelle auftreten und jeder größere Organismus sich aus Billionen von Zellen aufbaut, macht uns das Leben verständlicher. Der lebende Körper erscheint uns innerhalb kürzerer Zeiträume als etwas Beständiges, wir erkennen eine Pflanze nach Tagen, einen Menschen nach Jahren als denselben Organismus wieder. Wir behaupten, er habe sich nicht verändert, und doch ist das Täuschung. Keine seiner Zellen ist nach Jahren noch dieselbe, es hat ein fortwährendes Absterben und ein fortwährender Ersatz der Zellen stattgefunden. Wie sollte der scheinbare Bestand, die Erhaltung des Individuums bei einem solchen Wechsel wohl möglich sein, wenn der Körper nicht aus Zellen bestände? Dann könnte kein Stoffwechsel, sondern nur eine vollständige periodische Umformung stattfinden. So aber schreitet diese Umformung in jedem Augenblick unmerklich durch die Zellen fort, während der Organismus als Erscheinung gerade so derselbe bleibt, wie eine Wolke oder ein Wasserfall einem Maler beständig erscheint, obwohl in jeder Sekunde andere Tropfen oder Nebeltröpfchen diese Erscheinungen zusammensetzen. So begreifen wir wenigstens bis zum gewissen Grade das Rätsel des mikroskopischen zelligen Baues der Lebewesen. Und auch die physikalisch-chemische Untersuchung des Protoplasmas bringt uns weiter als bloße Philosophie. Man hat erkannt, daß das tierische und pflanzliche Protoplasma dieselbe Substanz ist, darum begreifen wir denn auch bei aller äußeren Verschiedenheit von Pflanze und Tier, daß beide manche ähnliche Lebenserscheinungen zeigen. Und wenn wir von höheren Wesen beider Reiche zu den niederen hinabsteigen, dann finden wir in beiden Reichen den einfachen Protoplasten als Anfang, und jede Scheidewand zwischen Pflanze und Tier verschwindet. Aufs engste verwandt erscheinen sie vielmehr durch das gemeinsame Element der Zelle.

II. Die Aufnahme der Nahrung durch die Pflanzen.

1. Die Natur und Aufnahme der Pflanzennahrung.

Jede Pflanze hat als nächstliegendes Ziel ihrer Lebenstätigkeit die Aufnahme von Nahrung aus der Umgebung und deren Einverleibung in ihre Körpersubstanz. Diese Vorgänge nennt man Ernährung. Sie zielen wesentlich zunächst auf die Vermehrung der festen Substanz oder Trockensubstanz ab. Von allen diesen Vorgängen sieht man aber bei den Pflanzen so gut wie gar nichts. Während es bei den Tieren leicht ist, wenigstens die Art ihrer Nahrung festzustellen, kann man bei den Pflanzen darüber unmittelbar nichts angeben. Die landläufige Meinung, der Boden liefere alle Pflanzennahrung, weil sie darin wurzeln, ist ebenso unrichtig wie die, Wasser genüge den Pflanzen, weil sie vom Menschen nichts anderes verlangen, als daß er sie begießt. Die chemische Zusammensetzung des Protoplasmas hat uns aber gelehrt, daß die Stoffe, die es aufbauen, in der Luft, im Wasser und den Gesteinen der Erde vorhanden sind. In der Tat sind die Rohstoffe der Pflanzennahrung für die meisten Pflanzenarten Bestandteile der Luft, Wasser und Salze, also recht verschieden von tierischer Nahrung, die aus Eiweißstoffen, Zuckerarten, Fetten in verschiedenster Form und aus einigen Salzen und Wasser besteht. Wie die Pflanze es anfängt, sich in den Besitz des genannten Rohmaterials zu setzen, wie sie darangeht, die von außen aufgenommenen Stoffe sich einzuverleiben, wie sie es macht, nur dasjenige festzuhalten, was ihr gerade nützlich ist, dagegen alles, was nicht zur Vergrößerung des eignen Leibes verwendet werden kann, wieder zu entlassen und als Ballast auszuscheiden, ist unendlich mannigfaltig. Es richtet sich diese Mannigfaltigkeit einerseits nach der Verschiedenheit der Standorte der Pflanze, andererseits nach dem Bedürfnisse der einzelnen Arten. Wie anders muß sich dieser Vorgang bei solchen Pflanzen gestalten, die zeit lebens ganz und gar von Wasser umspült werden, im Vergleich zu denen, die auf dem Sand oder dem Trümmergestein der Wüste monatelang jeder Wasserzufuhr entbehren; wie verschieden muß die Nahrungsaufnahme jener Pilze sein, die im tiefen Dunkel eines Bergstollens auf feuchten Holzbalken wuchern, im Vergleich zu den Alpenpflanzen, die auf den Gipfeln unserer Berge zeitweilig dem intensivsten Sonnenlicht ausgesetzt, dann wieder wochenlang von düsteren Nebeln umwallt sind; wie eigentümlich muß die Wechselwirkung zwischen der Pflanze und ihrer Umgebung bei den Schmarotzergewächsen sein, die ihre Nahrung aus anderen lebenden Organismen saugen, und wieder bei den merkwürdigen Gewächsen, welche kleine Insekten fangen und verdauen, ferner bei jenen winzigen Geschöpfen, welche als Hefe,

Essigmutter und dergleichen in unserem Haushalt eine so wichtige Rolle spielen, und endlich bei den Baumriesen, die, zu mächtigen Beständen vereinigt, unsere Wälder bilden!

Aber die Standorte, an denen wir Pflanzen finden, sind nicht geeignet, einen Unterschied der Ernährung der verschiedenen Pflanzen zu begründen, denn die Pflanzen können den verschiedenen Unterlagen die gleichen Stoffe, gleichen Bodenarten verschiedene Stoffe entziehen. Außerdem stammt, wie angedeutet, gar nicht alle Nahrung der Pflanze aus ihrem Boden, sondern ein Teil aus der Luft.

Wollen wir Pflanzen verschiedener Ernährungsweisen trennen, so kann das nur nach der Art der Substanzen geschehen, die die Pflanzen zur Nahrung benutzen. Es gibt wesentlich drei verschiedene Gruppen:

- 1) Pflanzen, welche sich ganz von anorganischen Stoffen, Bestandteilen der Luft, des Wassers und der Bodensalze, ernähren.
- 2) Pflanzen, die außer anorganischen Stoffen einen Teil ihres Bedarfs auch durch organische Stoffe, d. h. Eiweißstoffe, Fette, Zuckerarten, decken.
- 3) Pflanzen, welche sich nur aus organischen Stoffen unter Zuhilfenahme einiger Salze ernähren können.

Die ersten beiden Gruppen finden ihre Nahrung ziemlich überall auf der Erde, daher sind sie auch am verbreitetsten. Man unterscheidet sie von der dritten Abteilung mit einem Blick, denn sie haben grüne, chlorophyllhaltige Organe. Die dritte Gruppe dagegen kann sich nur da ansiedeln, wo sich organische Stoffe zufällig angehäuft haben. Ihre Angehörigen entbehren nicht nur des grünen Farbstoffs und sind anders gefärbt oder ganz farblos, sondern weichen auch in der Form von den grünen Pflanzen oft ganz auffallend ab.

Die Mehrzahl der Gewächse ist zur Zeit der Nahrungsaufnahme an den Nährboden gebunden und einer Ortsveränderung nicht fähig. Aber es finden sich auch solche, welche zum Behufe der Nahrungsaufnahme bestimmte Bewegungen mit der ganzen Masse ihres Körpers ausführen. Besonders auffallend sind in dieser Beziehung die Schleimpilze, die überdies auch insofern hier erwähnt zu werden verdienen, weil sie die Nahrung nicht durch Vermittelung einer den Protoplasmaleib umgebenden Zellhaut aufnehmen. Ihr nacktes Protoplasma gleitet beim Suchen nach Nahrung über den Nährboden hin und entzieht diesem unvermittelt diejenigen Stoffe, deren es zur Vergrößerung seines Leibes bedarf. Lose Körper können dabei von den Fortsätzen des sich streckenden und gleichsam ausstrahlenden Protoplasmas erfaßt, umklammert und schließlich ganz eingehüllt und ausgezogen werden (s. Abbildung, S. 33, letzte Figur rechts). Sind solche vom Protoplasma umflossene Körper klein, so werden sie von der Peripherie nach innen gezogen und dort förmlich verdaut. Was von dem fremden Körper nicht als Nahrung verwendbar ist, wird nachträglich wieder ausgestoßen oder von dem weiterkriechenden Protoplasten zurückgelassen.

2. Die Ernährung der Chlorophyllpflanzen durch Aufnahme anorganischer Stoffe.

Die Kohlensäure.

Das an erster Stelle zu nennende Nahrungsmittel der grünen Pflanzen ist die Kohlensäure. Kohlenstoffhaltige Verbindungen bauen alle Pflanzengebäude auf, und den dazu nötigen Kohlenstoff entnimmt die erste Gruppe der oben aufgezählten Pflanzen ausschließlich der Kohlensäure. Es hat zunächst etwas Überraschendes, daß die Pflanzen zur Gewinnung fester Pflanzensubstanz ein Gas benutzen. Da man dies nicht vermuten konnte, hat es lange gedauert, bis man es entdeckte. Altertum und Mittelalter hatten davon keine Ahnung. Erst im Jahre 1779 wurde diese Tatsache von einem holländischen Arzt und Naturforscher, Jan Ingenhousz, durch Versuche wahrscheinlich gemacht. Sehr bemerkenswert ist der Umstand, daß keine Pflanze bekannt ist, welche freies Kohlendioxyd oder Kohlensäure aus der Erde aufnimmt. Man könnte vermuten, daß die Pflanzen mit ihren Wurzeln das kohlenstoffhaltige Wasser des Bodens aufsaugten und zu den grünen Laubblättern hinaufleiteten, was aber, soweit die Erfahrungen reichen, nicht der Fall ist.

Alle Kohlensäure stammt aus der atmosphärischen Luft, die, im wesentlichen ein Gemenge aus $\frac{3}{4}$ Stickstoff und $\frac{1}{4}$ Sauerstoff, ungefähr 0,04 Proz. Kohlendioxyd enthält, also 4 Liter Kohlensäure in 10000 Litern Luft. Enthielte die Luft viel mehr Kohlensäure, so würde sie zum Atmen für die Tierwelt ungeeignet. Aber die Pflanzenwelt besitzt trotzdem in der Luft ein ganz gewaltiges Kohlenstoffreservoir, da die ganze in der Lufthülle verteilte Kohlensäure ungefähr 3000 Billionen Kilogramm wiegt. Wenn nun auch unausgesetzt die Pflanzen diese Kohlensäure zur Ernährung verbrauchen, so nimmt der Gehalt der Luft an diesem Gas doch nicht merklich ab, da gleichzeitig durch die Atmung von Pflanzen und Tieren, durch Kohlenstoffquellen des Erdbodens, durch vulkanische Ausbrüche und durch zahllose Verbrennungsprozesse unserer Kultur immer wieder gewaltige Mengen Kohlensäure in die Luft zurückgelangen. Die Steinkohle, welche wir bergmännisch gewinnen, ist der abgeschiedene Kohlenstoff vorweltlicher Wälder, die ihn damals wie heute der Atmosphäre entzogen. Nach Millionen Jahren kehrt dieser Kohlenstoff durch unzählige Schornsteine von Fabriken, Eisenbahnen, Dampfschiffen in die Luft zurück, und wir sprechen daher wohl von einem Kreislauf des Kohlenstoffes.

Die Menge der aufgenommenen Kohlensäure richtet sich, abgesehen von Luftdruck und Temperatur, vorzüglich nach dem Bedürfnis der sich ernährenden Pflanze. Dieses aber ist sehr verschieden, je nach der spezifischen Konstitution der Pflanze und je nach der Tageszeit. Im Tageslicht ist das Bedürfnis aller grünen Pflanzen nach Kohlenstoff sehr groß. Die Kohlensäure, die kaum in die Zelle gelangt ist, wird sofort zerlegt, durch das Sonnenlicht reduziert und zur Bildung eines Kohlenhydrats (Stärke) verwendet. Der frei gewordene Sauerstoff aber wird aus der Zelle wieder entfernt und in die umgebende Luft oder das umgebende Wasser ausgeschieden. Da durch dieses Festhalten des Kohlenstoffes und die Ausscheidung von Sauerstoff das kaum aufgenommene Gas als solches wieder verschwindet, so erfolgt eine neue Anziehung von Kohlendioxyd aus der Umgebung. Aber auch diese neue Menge wird sofort in der oben geschilderten Weise von den im Protoplasten

eingelagerten grünen Chlorophyllkörpern verarbeitet, und so entsteht ein unausgesetzter Strom von Kohlendioxyd aus der Umgebung nach der Verbrauchsstelle in das Innere der grünen Zellen. Wäre es möglich, die Moleküle des Kohlendioxyds in der Luft zu sehen, so würde man beobachten können, wie dieselben rascher als die anderen Bestandteile der Luft auf die grünen Blätter und anderen grünen Pflanzenteile, in denen ein so lebhafter Bedarf an Kohlenstoff herrscht, zuwandern. Dieses Zuströmen dauert so lange, als eben das Tageslicht auf die grünen Zellen einwirkt. Am frühesten Morgen, sobald der erste Sonnenstrahl die Pflanze trifft, beginnen die Zellen in ihren kleinen Werkstätten mit der Arbeit, die Kohlenensäure zu spalten und aus ihr organische Verbindungen: Zuckerarten und Stärke, zu bilden, und erst wenn der Abend herangerückt und die Sonne gesunken ist, wird diese Arbeit eingestellt und zugleich auch das Zuströmen des Kohlendioxyds bis zum nächsten Morgen unterbrochen.

Die Wasserpflanzen decken ihren Bedarf an Kohlenensäure aus dem sie umspülenden Wasser, in dem sich die Kohlenensäure der Luft auflöst. Sind diese Pflanzen einzellig, so findet die Aufnahme der Kohlenensäure allseitig durch die ganze Oberfläche der Zellhaut statt; sind sie mehrzellig und die Zellen kettenförmig aneinandergereiht oder zu einer flächenartig ausgebreiteten Schicht verbunden, so wird jede dieser Zellen die Kohlenensäure nur durch jenen Teil der Zellwand in das Innere gelangen lassen, der unmittelbar mit dem Wasser in Berührung ist. Dasselbe gilt auch von jenen unter Wasser lebenden Pflanzen, die aus mehreren Zellschichten bestehen und bedeutenden Körperumfang besitzen. Die Zellen, welche solche Pflanzen gegen das Wasser zu abgrenzen, also deren Oberhaut bilden, schließen immer dicht zusammen, sind meist flach, an der dem Wasser zugewendeten Seite nicht verdickt und stehen in ununterbrochenem Verbands, so daß man keinerlei Lücken zwischen ihnen findet. Im Inneren dieser Wasserpflanzen aber bilden sich schon in erster Jugend durch Auseinanderweichen einzelner Zellreihen große Lücken und Höhlungen aus, welche mit einem Gemenge aus Stickstoff, Sauerstoff und Kohlendioxyd, also mit einer Luft erfüllt sind, die von der atmosphärischen Luft nicht wesentlich abweicht. Wenn diese Einrichtung einerseits den Zweck haben mag, das spezifische Gewicht der ganzen Pflanze herabzusetzen, damit sie schwimmt, so ist sie andererseits auch insofern von Bedeutung, als aus diesen Lusträumen Sauerstoff zum Atmen und Kohlenensäure als Nährgas in die angrenzenden Zellen aufgenommen werden kann.

Nicht jede Zelle ist jedoch imstande, Kohlenensäure aufzunehmen und sie zu Kohlenhydraten zu verarbeiten. Dazu bedarf der Protoplast noch besonderer kleinerer Laboratorien, die sich bei den einfachsten Pflanzenformen, wie den Algen, denn auch in jeder Zelle, bei höheren Pflanzen aber nur in einem Teil der Gewebeschichten finden. Diese Laboratorien sind lebhaft grün gefärbte Körperchen, welche meist in Körnerform in den Protoplasten aller dem Auge grün erscheinenden Organe und Gewebe eingebettet sind. Sie heißen Chlorophyllkörper oder Chloroplasten. Nicht den Protoplasten, sondern allein diesen winzigen grünen Körnern strömt die Kohlenensäure zu und wird von ihnen zerlegt, während der Sauerstoff wieder aus den Zellen in die Luft austritt, mit den Elementen des Wassers zu Zuckerarten oder Stärke verbunden.

Die im Erdboden wurzelnden, mit ihren grünen Organen in die Luft hineinragenden Pflanzen decken ihren Bedarf an Kohlenstoff ausschließlich dadurch, daß sie Kohlendioxyd der atmosphärischen Luft entziehen. Es finden sich aber zu diesem direkten Bezuge bei

ihnen regelmäßig noch besondere Einrichtungen. Da diese Gewächse nicht wie die Wasserpflanzen feucht bleiben, es auch nicht vertragen, gleich den Fels- und Wüstenpflanzen in trockenen Perioden, ganz auszudorren, so müssen sie gegen einen zu weitgehenden Verlust des Wassers sichergestellt sein. Sie sind es auch, und zwar dadurch, daß diejenigen Zellwände, welche unmittelbar von der Luft umspült werden, also die äußeren Wände der Oberhautzellen, durch eine für Wasser und Luft gar nicht oder doch nur schwer durchdringbare Schicht, die *Kutikula*, geschützt und dadurch so eingerichtet sind, daß durch sie das Wasser aus dem Zellinneren nur schwer entweichen kann. Selbstverständlich wird nun aber eine Zellwand, welche dem Austritte von Wasser einen großen Widerstand entgegensezt, auch den Eintritt desselben nicht leicht gestatten, und auch die Bedingungen für das Passieren von Gasen durch eine solche verdickte, kutikularisierte Zelloberhaut sind nichts weniger als günstig.

In der That gelangen manche Bestandteile der atmosphärischen Luft nur schwer, andere gar nicht durch diese verdickten Wände. Auch das Kohlendioxyd würde nicht immer in dem Maße durchdringen, wie es dem Bedürfnis entspräche. Damit nun das Kohlendioxyd, dieses so wichtige Nahrungsmittel der Pflanze, in genügender Menge zu den grünen Zellen unter der Oberhaut, in denen die der Ernährung vorstehenden Protoplasten hausen, hingelangen kann, ist folgende Einrichtung getroffen.

Zwischen den fest aneinanderschließenden Oberhautzellen finden sich noch andere Zellen eingeschaltet, die immer paarweise beisammenstehen, gewöhnlich kleiner sind als die anderen und einen kleinen Spalt zwischen sich offen lassen. Solche Spaltöffnungen besitzt die Oberhaut unzählige, ein mittelgroßes Blatt oft eine Million, und sie führen hinein in Gänge, die durch Auseinanderweichen einzelner Zellen entstehen, die sogenannten *Interzellulargänge*. So bildet jede Spaltöffnung eigentlich die Mündung eines Systems von Gängen, welches zwischen den dünnwandigen Zellkammern im Inneren entwickelt ist. Die Bestandteile der atmosphärischen Luft, allen voran das Kohlendioxyd, können durch die Spaltöffnungen in diese inneren Gänge und Kanäle gelangen, streichen dort an den mit Chlorophyll erfüllten Zellkammern vorbei, können auch mit Leichtigkeit die dünnen, mit Wasser durchtränkten Wandungen dieser inneren Zellen passieren und erreichen so die lebendigen, mit Chlorophyll ausgestatteten Protoplasten. Deren Tagesarbeit besteht, wie schon oben erwähnt, darin, daß sie unter dem Einfluß des Lichtes die in die Chlorophyllkörper gelangte Kohlenensäure sofort zerlegen, den Kohlenstoff verarbeiten, den Sauerstoff aber sowie alle übrigen Bestandteile der Luft, die etwa noch in den Arbeitsraum des Protoplasten gelangt sind, aber für den Augenblick keine Verwendung finden, auf demselben Wege wieder nach außen befördern, auf dem sie eingedrungen waren.

Die Durchlüftungskanäle, welche mit Spaltöffnungen an der Oberhaut münden, dienen übrigens nicht nur der eben geschilderten Zufuhr von Kohlendioxyd und der Abfuhr von Sauerstoff; denn durch dieselben Spalten, Gänge und Binnenräume, durch die das Kohlendioxyd ein- und der Sauerstoff ausströmt, findet auch die Atmung der Pflanzen statt, und überdies spielen sie noch eine sehr wichtige Rolle bei der Abgabe von Wasserdampf, der sogenannten Transpiration. Es wird daher auch die Mannigfaltigkeit ihrer Ausbildung, die ganz vorzüglich als eine Anpassung an die verschiedenen Verhältnisse, unter welchen die Transpiration stattfindet, aufzufassen ist, erst bei Behandlung dieses Vorganges eingehender zu besprechen sein (vgl. S. 201).

Einstweilen gibt das Gesagte eine Vorstellung von der Aufnahme dieses Nährgases, der Kohlensäure. Welch merkwürdiger Ernährungsvorgang, wenn man ihn mit dem uns geläufigen der Tiere vergleicht!

Wenn wir beachten, daß die Pflanzen des festen Landes mit ihren Organen von einem Gasgemenge, der Luft, umgeben sind, aus dem sie außer der Kohlensäure auch noch Sauerstoff für ihre Atmung, die derjenigen der Tiere ähnlich verläuft, aufnehmen, so erscheint uns der Umstand merkwürdig, daß der Stickstoff, welcher einen unentbehrlichen Bestandteil des Protoplasmas und daher einen für alle Pflanzen sehr wichtigen Nährstoff bildet, nicht gleichfalls aus der die Pflanzen umspülenden atmosphärischen Luft, die doch bekanntlich dem Raume nach 79 Prozent Stickstoff enthält, aufgenommen wird. Wenn freier Stickstoff auch viel schwieriger und langsamer die Zellwände einer von atmosphärischer Luft umgebenen Pflanze durchdringt als das Kohlendioxyd, so kann es doch keinem Zweifel unterliegen, daß er aus der Atmosphäre in die Durchlüftungsräume der grünen Laubblätter und weiterhin durch die dünnen Zellwände auch in die Werkstätten der Protoplasten gelangt, und man möchte glauben, daß er dort gerade so wie die Kohlensäure verarbeitet werden würde. Die sorgfältigsten Untersuchungen haben aber ergeben, daß er in dieser freien Form von den Protoplasten nicht unmittelbar verwertet, vielmehr unbemerkt der Atmosphäre zurückgegeben wird, und daß nur Stickstoff, der mit anderen Stoffen chemisch verbunden in das Innere der Pflanze gelangt, dort auch Verwendung finden kann. N

Vorzüglich sind es salpetersaure Salze und vielleicht auch Ammoniakverbindungen, welche die Pflanzen zur Deckung ihres Bedarfes an Stickstoff aus dem Boden aufnehmen. Quelle für die Salpetersäure des Bodens sind tote organische Körper, die zerfallen und oxydiert werden. Meistens wird der Vorgang bei der Bildung der Salpetersäure aus verwesenden Körpern sich so abspielen, daß zuerst Ammoniak gebildet wird und aus diesem salpetersaure Salze (Nitrate) hervorgehen. Der Gedanke liegt nahe, daß geringe Mengen von Nitraten an den Stätten, wo Tier- und Pflanzenleichen, Dammerde, Dünger und dergleichen der Oxydation unterliegen, also im Wald, auf der Wiese oder im Felde, sofort von den dort wachsenden Pflanzen aufgenommen werden.

Den Salpeter braucht die Pflanze zwar nicht zur Bildung der Kohlenhydrate, aber ähnlich wie die Kohlensäure bei der Erzeugung der Kohlenhydrate wird auch der Salpeter bei der Bildung der so wichtigen Eiweißverbindungen reduziert. Dabei sind aber das Sonnenlicht und das Chlorophyll nicht unmittelbar beteiligt. Auch wird dabei abgespaltener Sauerstoff nicht ausgeschieden, sondern zu anderen in der Pflanze sich bildenden Verbindungen, vielleicht zu Pflanzensäuren, verbraucht. Wir haben aber noch keinen Einblick in die Vorgänge, durch die der Stickstoff der Salpetersäureverbindungen zuerst zum Aufbau einfacherer organischer Verbindungen benutzt wird, die durch ihr Zusammentreten erst die Eiweißstoffe liefern.

Die Nährsalze.

Wir haben soeben von den Nährsalzen der Pflanzen die Nitrate, die salpetersauren Salze, besprochen. Aber die Pflanzen brauchen noch eine ganze Reihe von anderen Nährsalzen, die sie dem Boden zu ihrer Ernährung entnehmen, und die man beim Einäschern der Pflanzen findet.

Setzt man Holz, Blätter, Samen oder irgendwelche andere Pflanzenteile bei Zutritt der Luft einer hohen Temperatur aus, so verändern sich zunächst die in ihnen enthaltenen Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen. Sie schwärzen sich, verkohlen und verbrennen, und es gehen schließlich die Verbrennungsprodukte in gasförmigem Zustand in die Atmosphäre über, darunter auch aus den Nitraten, die bei der Verbrennung wegen Einwirkung der Kohle Kohlenensäure und Stickstoff liefern. Was als unverbrennlich zurückbleibt, wird Asche genannt. Die Menge wie die Zusammensetzung dieser Asche sind bei den verschiedenen Pflanzenarten und selbst bei ein und derselben Pflanze in deren verschiedenen Teilen sehr ungleich. Gewöhnlich bildet die Asche nur einige Prozente von dem Gewichte des vor der Verbrennung getrockneten Pflanzenkörpers. Verhältnismäßig am meisten Asche bleibt bei der Verbrennung der Wasserpflanzen, namentlich solcher, welche im Meer aufgewachsen sind, und der auf Salzsteppen gedeihenden Meeresgewächse zurück. Die geringste Menge dagegen zeigen Pilze und Moose, zumal die Torfmoose, ebenso die tropischen, auf der Baumborke lebenden Orchideen. Die Samen und das Holz ergeben vergleichsweise immer viel weniger Asche als das Laub. Etwas Asche aber wird, wie schon bemerkt, bei der Verbrennung aller Pflanzenteile, ja man kann wohl sagen, jeder einzelnen Zelle gefunden, und mitunter läßt der Aschenrückstand, wie ein Skelett, noch auf das genaueste die Größe, den Umriss und die Gestalt der Zellen erkennen. Schon diese ganz allgemeine Verbreitung läßt darauf schließen, daß die Bestandteile der Asche nicht zufällig in die Pflanze gelangten, sondern für diese notwendig sind. Das wurde schon 1804 von Th. de Saussure behauptet. Die Unentbehrlichkeit der Aschenbestandteile für die wachsende Pflanze läßt sich aber auch beweisen. Versucht man es, eine Pflanze ausschließlich mit destilliertem Wasser zu ernähren, so geht sie alsbald zugrunde; setzt man aber dem destillierten Wasser, welches die Wurzeln der Versuchspflanzen umspült, eine geringe Menge der Aschenbestandteile zu, so kann man in einer solchen Lösung die betreffenden Pflanzen an Umfang zunehmen, Laub und Blüten, ja selbst keimfähige Samen entwickeln sehen. Das ist die Methode der künstlichen Ernährung der Pflanzen, kurz auch „Wasserkultur“ genannt.

Es wurde durch solche Kulturversuche auch festgestellt, welche Bestandteile für alle Pflanzen unentbehrlich und welche nur unter gewissen Verhältnissen und nur für bestimmte Arten notwendig oder doch vorteilhaft sind. Als unbedingt notwendig sind diejenigen Grundstoffe anzusehen, welche bei der Bautätigkeit der Pflanzen verbraucht werden und in die Zusammensetzung des Zellenleibes und der Zellhaut eingehen, die also z. B. wesentliche Bestandteile der eiweißartigen Verbindungen bilden, oder die insofern eine Rolle spielen, als ohne ihre Gegenwart die Bildung solcher Verbindungen unmöglich ist. Als solche aber haben zu gelten außer Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff; Schwefel und Phosphor, Kalium, Kalzium und Magnesium und für die grünen Pflanzen das Eisen. Von anderen Stoffen, die nur in manchen Pflanzen vorkommen, läßt sich noch nicht genau angeben, ob sie notwendige Nährstoffe sind, oder ob die Pflanzen sie nur zufällig ansammeln. So enthalten die Meeresalgen viel Chlor und daneben Jod. In Landpflanzen kommt verbreitet das Silizium vor. Die meisten dieser Grundstoffe werden von der sich ernährenden Pflanze in hoch oxydiertem Zustand, also in Verbindung mit viel Sauerstoff, und zwar in der Regel als Salze, aufgenommen, und man kann die mineralischen Nährstoffe auch kurzweg unter dem Namen Nährsalze begreifen.

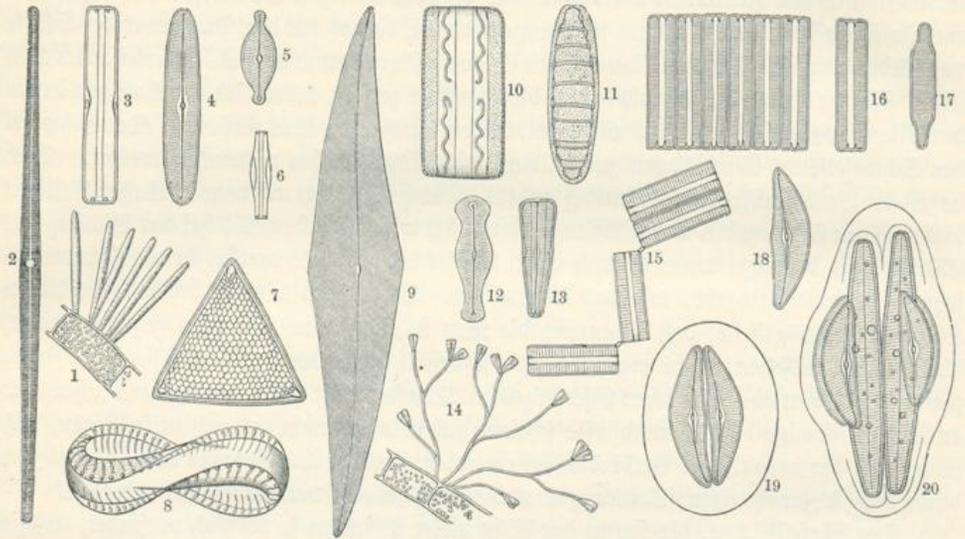
Selbstverständlich können die Nährsalze nur im gelösten Zustande durch die Zellhaut

hindurch in das Innere der Pflanze gelangen. Dementsprechend sind es vorzüglich die im Wasser löslichen schwefelsauren, phosphorsauren, salpetersauren Salze des Kalziums, Magnesiums, Kaliums und Eisens, die als Nährsalze angesprochen werden können. Dabei scheint es ziemlich belanglos, in welcher Verbindung die unentbehrlichen Grundstoffe von der Pflanze aufgenommen werden. So dürfte es z. B. gleichgültig sein, ob der Phosphor als phosphorsaures Kalium oder phosphorsaures Natrium vom Nährboden dargeboten wird. Über die Bedeutung des Schwefels für die Pflanze ist so viel sichergestellt, daß er zur Erzeugung der Eiweißkörper notwendig ist. Der Phosphor scheint für die Bildung gewisser, namentlich in den Zellkernen vorkommenden phosphorhaltigen Stickstoffverbindungen unentbehrlich zu sein; vom Kalium wird angenommen, daß es für den Transport der Stärke von Bedeutung ist. Der Kalk kommt, mit Schwefelsäure verbunden, als schwefelsaurer Kalk in die Pflanze. Man glaubte bis dahin, dieser würde zerfällt, indem sich der Kalk mit der in der Pflanze verbreiteten Oxalsäure zu unlöslichem oxalsaurem Kalk verbände. Der Schwefel der Schwefelsäure könnte dann zur Bildung von Eiweißstoffen verwendet werden. Doch liegen die Verhältnisse wohl wesentlich anders. Das Eisen, das mit dem in Wasser löslichen kohlen-sauren Eisenoxydul in die Pflanze eingeführt wird, ist jedenfalls bei der Bildung des Chlorophylls beteiligt, wenn es auch nicht, wie früher geglaubt wurde, in die Zusammensetzung desselben eingeht, wie das Magnesium. Es hat sich nämlich bei den künstlichen Kulturen herausgestellt, daß Pflanzen, die man in eisenfreien Lösungen gezüchtet hatte, bleichsüchtig aussehend, nicht ergrünen und schließlich absterben, während sie nach Zusatz geringer Mengen eines löslichen Eisensalzes in kürzester Frist grün werden und sich weiter entwickeln. Einige dieser Grundstoffe scheinen sich demnach nicht dadurch zu betätigen, daß sie in eine der organischen Verbindungen eintreten, sondern ihre Aufgabe besteht vorzüglich darin, daß sie Zersetzen, Spaltungen und Neubildungen vermitteln und anregen.

Der Kieselsäure, die sich in der Asche vieler Pflanzen so reichlich vorfindet, daß sie oft mehr als die Hälfte derselben ausmacht, ist wieder eine andere Rolle zugeordnet. Sie dient nicht der Ernährung, findet sich aber in den Zellmembranen vieler Pflanzen in zarter Verteilung. Glüht man jene winzigen, einzelligen Wasserpflanzen, die unter dem Namen der Diatomeen bekannt sind, oder setzt man die Stengel der Schachtelhalme, die Nadeln des Wacholders, die Blätter von Gräsern und dergleichen der Glühbirne aus, so bleibt ein weißes Skelett zurück, das fast ganz aus Kieselsäure besteht, und an dem nicht nur die Form der Zellen, sondern auch die feinsten Skulpturen der Zellwände zu erkennen sind. Namentlich die Zellhaut der Diatomeen und die steifen Härchen an dem Laube der Gräser erhalten sich in sehr zierlichen Gestalten mit deutlichen Umrissen, und manche Formverhältnisse der Zellhaut, zumal die verschiedenen Leisten, Streifen, Punkte und Wärtchen derselben, sind an solchen ausgeglühten Gebilden noch viel deutlicher zu sehen als früher, da der den Innenraum der Zelle erfüllende Protoplast die Durchsichtigkeit beschränkt. Es läßt sich an solchen ausgeglühten Zellen deutlich erkennen, daß die Kieselsäure nur auf die Zellhäute beschränkt ist und als Bestandteil einer chemischen Verbindung im Leibe des Protoplasmas keine Rolle spielt, ja nicht einmal bei der Entstehung einer solchen Verbindung vermittelnd auftritt. Man findet bei den Diatomeen die Kieselsäure so gleichmäßig zwischen den Zellstoff eingelagert, daß auch nach der Entfernung des letzteren der ganze Bau in seinen Umrissen und in seinen Einzelheiten erhalten bleibt. Die Kieselsäure bildet also einen förmlichen Panzer, der als ein Schutzmittel gegen gewisse nachteilige äußere Einflüsse dient. (S. Abbildung, S. 58.)

zu weinlich
C, H, O, S, N

Sterben diese Kieselalgen ab, so bleiben ihre unverweslichen Membranen zurück. Im Meere, wo sie in ungeheurer Menge leben, sinken diese Membranen infolge ihrer Schwere auf den Meeresgrund und sammeln sich im Laufe der Jahrtausende zu mächtigen Bänken. Hat sich ein solcher Meeresgrund im Laufe der Erdgeschichte gehoben, dann bilden derartige Diatomeenmassen Schichten der Erdrinde. Sie werden dann vielfach als Kieselgur oder Diatomeenerde für technische Zwecke gegraben, z. B. in der Lüneburger Heide, in Skandinavien, in der Union. Auch der Biliner Polierschiefer besteht aus Diatomeen. Berlin und Königsberg stehen zum Teil auf alluvialen Diatomeenlagern.



Kieselpanzer von Diatomeen: 1 Mehrere Individuen der *Synedra Ulna*, welche der Chlorophyllführenden Zelle einer Wasserpflanze aufsitzen; 2 einzelnes Individuum der *Synedra Ulna*, stärker vergrößert; 3, 4 *Navicula Liber*, von zwei Seiten gesehen; 5, 6 *Navicula tumida*, von zwei Seiten gesehen; 7 *Triceratium Favus*; 8 *Campylodiscus spiralis*; 9 *Pleurosigma capitatum*, an verzweigten Trägern, welche den Chlorophyllführenden Zellen einer Wasserpflanze aufsitzen; 10, 11 *Grammatophora serpentina*; 12, 13 *Gomphonema capitatum*, von zwei Seiten gesehen; 14 *Gomphonema capitatum*, an verzweigten Trägern, welche den Chlorophyllführenden Zellen einer Wasserpflanze aufsitzen; 15 *Diatoma vulgare*, die zusammenhängenden Zellen bilden ein zickzackförmiges Band; 16, 17 *Fragillaria virescens*, ein Individuum von zwei Seiten gesehen und sechs Individuen zu einem Bande vereinigt; 18 *Cocconeoma Cistula*; 19 *Diatoma vulgare*; 20 Vergrößerung der kopulierten Zellen. Vergrößerung 50–300fach. (Zu S. 57.)

Inwiefern Natrium, Jod und Brom, Fluor, Mangan, Lithium und verschiedene andere Metalle, die man in der Asche einiger Pflanzen nachgewiesen hat, Verwendung finden, ist nicht bekannt, wie denn überhaupt unsere Kenntnis von den besonderen Aufgaben, welche den einzelnen mineralischen Nahrungsmitteln bei der Ernährung und dem Wachstum zukommen, noch sehr unvollkommen ist. Merkwürdig ist, daß die den Pflanzen so leicht zugängliche und weitverbreitete Tonerde nur sehr selten aufgenommen wird. Sie scheint bloß in der Asche der *Bärlappe* in größerer Menge nachgewiesen zu sein.

Als letzter Ausgangspunkt der in den Nährsalzen enthaltenen Grundstoffe ist die feste Erdrinde anzusehen. Aber nur für verhältnismäßig wenige Gewächse bildet diese unmittelbar den Nährboden; die Mehrzahl bezieht die Nährsalze aus den Verwitterungsprodukten der Gesteine, aus den Abfällen und den verwesenden Resten abgestorbener Tiere und Pflanzen, durch deren Zersetzung die mineralischen Substanzen dem Nährboden wieder zurückgegeben werden, ferner aus dem Grundwasser, das die Ritzen der Felsen sowie

die Poren des Sand- und Lehmbodens durchbringt und die berührten Bodenteile auslaugt, und endlich aus den mit gelösten Salzen zutage tretenden Gewässern der Quellen, Flüsse, Teiche und Seen sowie schließlich aus dem an Salzen überreichen Meerwasser.

Gerade diejenigen Salze, deren die meisten Gewächse bedürfen, gehören zu den verbreitetsten der Erdoberfläche. Namentlich findet man schwefelsauren Kalk und schwefelsaure Magnesia, Eisen- und Kalisalze usw. fast allerwärts im Boden, in den Grund- und Tagwassern. Dabei ist aber sehr auffallend, daß diese mineralischen Nährsalze durchaus nicht in der Menge, in der sie im Nährboden aufgeschlossen sind, in die Pflanze gelangen, daß den Pflanzen vielmehr die Fähigkeit zukommt, sich aus der Fülle der aufgeschlossenen und in gelöstem Zustand ihnen zur Verfügung gestellten Stoffe nur dasjenige und nur so viel auszuwählen, als für sie gerade gut und nützlich ist. Dieses mechanisch noch nicht erklär- bare Wahlvermögen der Pflanzen spricht sich in zahlreichen Erscheinungen aus, von welchen einige der wichtigsten kurz geschildert werden sollen.

Zunächst ist der Tatsache zu gedenken, daß Gewächse, die dicht nebeneinander auf demselben Nährboden gewachsen sind, dennoch eine ganz verschiedene Zusammensetzung ihrer Asche zeigen können. Besonders auffallend ist dieses Verhältnis bei Wasser- und Sumpfpflanzen, die dicht gedrängt an derselben Stelle wurzeln, auch von demselben Wasser umspült werden und dennoch sehr weitgehende Unterschiede in betreff der aufgenommenen mineralischen Nahrung zeigen. Die Aschen der in unmittelbarer Nähe in einem Sumpfe gewachsenen Wasserfchere (*Stratiotes aloides*), der weißen Seerose (*Nymphaea alba*), einer Armleuchterart (*Chara foetida*) und des Wasserohres (*Phragmites communis*), auf den Gehalt an Kali, Natron, Kalk und Kieselsäure geprüft, gaben z. B. folgendes Resultat:

In Prozenten von:	Wasserfchere	Seerose	Armluchter	Wasserohr
Kali	30,82	14,4	0,2	8,6
Natron	2,7	29,66	0,1	0,4
Kalk	10,7	18,9	54,8	5,9
Kieselsäure	1,8	0,5	0,3	71,5

Die anderen Bestandteile der Asche dieser Gewächse, zumal das Eisenoxyd, die Magnesia, Phosphorsäure und Schwefelsäure, zeigten geringere Differenzen; aber die Unterschiede in den Mengen des aufgenommenen Kaliums, Natriums, Kalzes und der Kieselsäure sind so groß, daß sie nur durch das Wahlvermögen dieser Pflanzen erklärt werden können.

Auf den Serpentinbergen bei Gurhof in Niederösterreich wurden zwei Pflanzenarten, das Brillenschötchen (*Biscutella laevigata*) und der niederliegende Bartflie (*Dorycnium decumbens*), gesammelt, welche, unter- und miteinander wachsend, einen trockenen Abhang überkleideten, und deren Wurzeln, sich teilweise kreuzend und verschränkend, dasselbe Erdreich ausfüllen. Die Asche dieser zwei Arten zeigte folgende Zusammensetzung:

In Prozenten von:	Brillenschötchen (<i>Biscutella laevigata</i>)	Bartflie (<i>Dorycnium decumbens</i>)	In Prozenten von:	Brillenschötchen (<i>Biscutella laevigata</i>)	Bartflie (<i>Dorycnium decumbens</i>)
Kali	9,6	16,7	Kieselsäure . . .	13,0	6,3
Kalk	14,7	20,9	Schwefel	5,2	1,6
Magnesia	28,0	19,6	Phosphor	15,9	22,3
Eisenoxyd	7,8	2,8	Kohlenäure . . .	5,4	9,7

Gehen die Unterschiede in der Zusammensetzung der Asche hier auch nicht so weit wie bei den oben aufgeführten Wasserpflanzen, so sind sie doch zu groß, als daß sie als bloßes Spiel des Zufalles angesehen werden dürfen.

Wenn man dagegen die Zusammensetzung der Asche von ein und derselben Pflanzenart, deren Stöcke auf einer ähnlichen Bodenunterlage an weit voneinander entfernten Orten sich ernährt hatten, vergleicht, so ergeben sich verhältnismäßig nur geringe Schwankungen. Das Laub, das sich an Buchenbäumen auf den Kalkbergen bei Regensburg entwickelt hatte, ergab eine Asche, welche von jener, die aus dem Buchenlaube von Bäumen auf den Hügeln des Bakonyer Waldes in Ungarn gewonnen wurde, nur ganz unbedeutend abwich. Selbst dann zeigt die Asche einer bestimmten Pflanzenart der Hauptsache nach dieselbe Zusammensetzung, wenn die Stöcke auf verschiedenen Bodenarten ihre Nahrung gewonnen hatten. Nur ist dann gewöhnlich die Menge solcher Stoffe, die der eine Boden reichlicher enthält als der andere, auch in der Asche in größerer, beziehentlich geringerer Menge nachweisbar. Doch zeigte die Asche der auf einem Schieferberge gewachsenen *Erica carnea*, verglichen mit der Asche derselben *Erica* von einem Kalkberge, nur unwesentliche Verschiedenheiten.

Daß sich unter solchen Umständen einzelne Stoffe auch vertreten können, ist nicht unwahrscheinlich. Diese Vertretung dürfte aber doch auf jene nahe verwandten Verbindungen beschränkt sein, deren Moleküle von dem lebendigen Protoplasma bei dem Aufbau und der Umlagerung der Stoffe wechselseitig substituiert werden können. Für einen Ersatz des Kalziums durch Magnesium sprechen die in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellten Analysen der Asche aus den beblätterten Zweigen der Eibe (*Taxus baccata*):

In Prozenten von:	Asche aus den Zweigen und Blättern der Eibe von:		
	Serpentinboden	Kalkboden	Gneißboden
Kieselsäure	3,8	3,6	3,7
Schwefelsäure	1,9	1,6	1,9
Phosphorsäure	8,3	5,5	4,2
Eisenoxyd	2,1	1,7	0,6
Kalk	16,1	36,1	30,6
Magnesia	22,7	5,1	5,7
Kali	29,6	21,8	27,6
Kohlensäure	14,1	23,1	24,4
		38,8	41,2
			36,3

Die Eibe findet sich in Mitteleuropa auf den verschiedensten Gebirgsformationen; am häufigsten auf Kalkboden, aber nicht selten auch auf Gneiß und mitunter auch auf Serpentin. Wenn man nun die Menge des Kalziums und Magnesiums aus der Asche der auf Kalk und Gneiß gewachsenen Eiben mit derjenigen vergleicht, welche die Asche der auf Serpentin gewachsenen Eiben lieferte, so stellt sich heraus, daß auf dem Serpentin, das der Hauptsache nach eine Verbindung der Magnesia mit der Kieselsäure ist, die Magnesia über die Kalkerde bedeutend das Übergewicht hat; dagegen zeigt die Asche der auf Kalkfelsen gewachsenen Eiben, deren Wurzeln vorwiegend kohlenaurer Kalk und nur wenig Magnesia geboten war, gerade das umgekehrte Verhältnis. Man kann aus der obenstehenden Tabelle schließen, daß in den Pflanzen des Serpentinbodens der Kalk größtenteils durch Magnesia ersetzt wird; dafür spricht auch der Umstand, daß dann, wenn man Kalk und Magnesia zusammen berechnet, in den drei Fällen sehr nahe übereinstimmende Zahlen sich ergeben, nämlich auf Kalkboden 41,2, auf Serpentin 38,8 und auf Gneißboden 36,3 Prozent der Asche.

Im allgemeinen wird aber die Vertretbarkeit eines mineralischen Elementes durch ein chemisch verwandtes durch Versuche nicht bestätigt. So läßt sich Kalium bei der Ernährung nicht durch Natrium oder durch Lithium oder Kalzium vertreten.

Alle diese bei der Auswahl der Nährsalze beobachteten Erscheinungen sind übrigens noch bei weitem nicht so auffallend wie die Tatsache, daß die Pflanzen auch die Fähigkeit besitzen, gewisse, ihnen wichtige Stoffe, welche der Nährboden in kaum nachweisbarer Menge enthält, dennoch aus der Fülle der anderen herauszulesen und gewissermaßen zu konzentrieren. Es wurde schon oben (S. 59) von der weißen Seerose angegeben, daß nahezu ein Drittel ihrer Asche aus Natron besteht. Man möchte nun glauben, daß das Wasser, in dem diese Seerose lebte, auffallend viel Kochsalz enthalten habe. Aber nichts von dem. Das Sumpfwasser, welches die Blätter und Stengel der Seerose umspülte, enthielt nur 0,0335 Prozent, der Schlamm, den die Wurzeln durchwucherten, nur 0,010 Prozent Kochsalz.

Nicht weniger überraschend ist das Vorkommen von Diatomeen, deren Zellhaut, wie schon früher erwähnt wurde, fast ganz aus Kieselsäure besteht und in einen förmlichen Kieselpanzer umgewandelt ist (vgl. S. 57), in Gewässern, die kaum Spuren von Kieselsäure enthalten. Oberhalb der Arzler Alpe in der Solsteinkette bei Innsbruck entspringt am Fuß einer mächtigen Kalkwand eine Quelle, deren kaltes Wasser mit raschem Gefälle in kleinen Kaskaden zwischen Felsblöcken zur Tiefe rauscht. Ihr Wasser ist hart, enthält viel Kalk und setzt auch in einiger Entfernung von der Ursprungsstelle Kalktuff ab. Unmittelbar an dem Orte, wo es aus einer Felskluft hervorquillt, ist das Rinnsal ganz erfüllt von einer dunkelbraunen, flockigen Masse, und diese Masse besteht merkwürdigerweise aus Milliarden von Zellen einer kieselhaltigen Diatomee, des zierlichen *Odontidium hiemale*, das, zu langen Bändern aneinandergereiht, hier in größter Üppigkeit gedeiht. Das umflutende Quellwasser aber enthält so wenig Kieselsäure, daß in dem nach Abdampfung von 10 Liter verbliebenen Rückstande noch immer keine Spur davon ermittelt werden konnte.

Ähnlich wie hier mit der Kieselsäure verhält es sich im Meere mit dem Jod. Die meisten Tange der Nordsee enthalten Jod, manche sogar in ziemlich ansehnlicher Menge, und dennoch ist es bisher nicht gelungen, im Wasser der Nordsee das Jod nachzuweisen. Auch Erdpflanzen zeigen übrigens ähnliche, mitunter geradezu verblüffende Erscheinungen. Die Ritzen quarzreicher Schieferfelsen in den Zentralalpen sind an manchen Stellen mit Steinbrechen, namentlich mit *Saxifraga Sturmiana* und *oppositifolia*, überwachsen, deren Blätter in dicht gedrängten Rosetten beisammenstehen und schon von fern durch ihre blasse Farbe auffallen. Sieht man näher zu, so findet man die Spitze und den Rand dieser Rosettenblätter mit kleinen Krusten von kohlensaurem Kalk bedeckt, deren Bedeutung für die Pflanze noch wiederholt zur Sprache kommen wird. Vergeblich aber sucht man in der die Felsritzen erfüllenden Erde nach einer Kalkverbindung, und auch der anstehende Fels kann nur in den eingesprengten, schwer zersehbaren Glimmerschüppchen Spuren von Kalk enthalten. Und dennoch kann der Kalk, der die Rosettenblätter dieser Steinbreche überkrustet, nur aus dem unterliegenden Gestein, es kann die Kieselsäure, die sich in die Zellhaut der Diatomeen einlagert, nur aus der erwähnten Quelle, das Jod der Tange nur aus dem Meer und das Kochsalz in den Seerosen nur aus dem Schlamme des Teiches, in dem sie sich entwickelt hatten, herkommen. Nur sind diese Stoffe in kaum wägbaren Spuren in den betreffenden Böden und Gewässern enthalten. Gerade darum beanspruchen aber derartige Fälle ein so hohes Interesse, weil

sie zeigen, daß der Pflanze die Fähigkeit zukommt, selbst von den äußerst geringen Mengen eines Stoffes Besitz zu ergreifen, wenn dieser für sie von Wichtigkeit ist.

Man kann sich vorstellen, daß dort, wo die Pflanze von Wasser umgeben ist, fort und fort neue Wassermengen mit der Oberfläche der Pflanze in Berührung kommen, weil selbst in scheinbar ruhigem Wasser ununterbrochen Ausgleichsströmungen durch die Änderungen der Temperatur veranlaßt werden. Über einen Tang, dessen Oberfläche einen Quadratdezimeter groß ist, können auf diese Weise im Laufe eines Tages Tausende von Litern Meerwasser hingleiten, und wenn jedem Liter auch nur ein kleiner Teil des in Spuren enthaltenen Stoffes entrisen wird, so häuft sich im Laufe vieler Tage schließlich doch eine ganz erhebliche Menge desselben in der Pflanze an. Noch größer als im Meere sind die Wassermassen, die über eine am Quellenursprung angesiedelte Pflanze dahingleiten, und es läßt sich begreifen, daß selbst die geringsten Spuren von Kieselsäure im Laufe der Zeit dort zur Geltung kommen. Schwieriger ist es, sich vorzustellen, wie es die in der Erde wurzelnden Pflanzen anfangen, um sich manche in kaum wägbaren Mengen im Erdboden enthaltenen Stoffe nutzbar zu machen. Jedenfalls müssen solche Pflanzen durch ein weitverzweigtes Wurzelwerk mit möglichst viel Masse des Nährbodens in Berührung kommen und zuweilen noch durch Ausscheidung gewisser Substanzen dazu beitragen, daß der begehrteste Stoff im Nährboden aufgeschlossen werde. Eine ausreichende Erklärung für die Ansammlung von Stoffen aus einer an diesen ärmeren Umgebung besitzen wir nicht.

Wie schon bei der Besprechung der Kohlenstoffaufnahme auseinandergesetzt wurde, denkt man sich als Anstoß zu einer Bewegung der Stoffe die Störung des Gleichgewichtes der Stoffe im wachsenden Pflanzenkörper. Wird an einem Punkt im Protoplasma der Pflanzenzelle ein Stoff verbraucht, z. B. in eine unlösliche Verbindung übergeführt, so erscheint an dieser Stelle die bisherige Gruppierung der Moleküle, oder sagen wir das molekulare Gleichgewicht, gestört. Um das gestörte Gleichgewicht wiederherzustellen, bedarf es der Wiederzuführung der Moleküle des entzogenen Stoffes, und diese Moleküle werden daher mit großer Energie von dorthier herbeigezogen, wo sie sich in einem beweglichen, wanderungsfähigen Zustande vorfinden. Wenn z. B. innerhalb einer Zelle schwefelsaurer Kalk zerlegt wurde, wobei sich der Kalk mit der in derselben Zelle entstandenen freien Oxalsäure zu unlöslichem oxalsaurem Kalk, und der Schwefel mit anderen Elementen zu Einweiß verband, so würde dieser Verbrauch des Gipses eine energische Anziehung von Gips aus der Umgebung bedingen, oder mit anderen Worten, es würde dadurch eine Bewegung des Gipses nach der Stelle des Verbrauches veranlaßt werden.

Daß aber die eine Pflanze diesen, die andere jenen Stoff bevorzugt, daß diese Art das Jod, jene das Natron, die dritte das Eisen oder Kieselsäure anzieht, ließe sich nur aus den Eigenschaften des Protoplasmas erklären, die uns aber zu unvollkommen bekannt sind. Das Protoplasma einer wachsenden Zelle, die kein Jod enthält, bedarf dieses Stoffes nicht bei den in seinem Inneren sich vollziehenden Umsetzungen und Umlagerungen, und ein solches Protoplasma ist daher auch kein Anziehungszentrum für das Jod, während andere Stoffe, die einen wesentlichen Bestandteil seines Leibes bilden, mit großer Kraft aus der Umgebung von ihm angezogen werden.

Für alle Pflanzen kann als Regel gelten, daß sie am besten gedeihen, wenn ihnen die nötigen Nährsalze in sehr verdünnten Lösungen geboten werden. Im allgemeinen ist den Pflanzen ein Salzgehalt von höchstens 1–2 g in einem Liter am

zuträglichsten, wie ihn das in der Natur vorkommende Bodenwasser, welches wir ja aus den Quellen als Trinkwasser benutzen, besitzt. Nimmt die Menge der Salze zu, so wird dadurch die Entwicklung solcher Pflanzen nicht nur nicht gefördert, sondern gehemmt. Das gift selbst dann, wenn die Salze zu denjenigen zählen, welche für die betreffenden Pflanzen in geringer Menge unbedingt nötig sind. Eine sehr geringe Menge eines Eisensalzes ist für alle grünen Pflanzen unentbehrlich; sobald aber ein gewisses Maß überschritten wird, wirkt das Eisensalz zerstörend auf die Zellhäute und das Protoplasma und führt den Tod der Pflanze herbei. Wo aber hier die Grenze zwischen zuträglich und schädlich liegt, wo die vorteilhaften Wirkungen bestimmter Stoffe aufhören und die nachteiligen Wirkungen sich einstellen, kann nur durch Versuche festgestellt werden. Man weiß, daß sich verschiedene Pflanzen in dieser Beziehung sehr verschieden verhalten. Wenn man z. B. auf eine Wiese, die mit Gräsern, Moosen und verschiedenen Kräutern und Stauden bewachsen ist, Holzasche ausstreut, so gehen die Moose zugrunde, die Gräser werden in ihrem Wachstum etwas gefördert, und einige Kräuter und Stauden, zumal die Knöteriche und Schotengewächse, zeigen ein auffallend üppiges Wachstum. Durch das Bestreuen mit Gips wird der Klee zur kräftigeren Entwicklung gebracht, dagegen sterben gewisse Farne und Gräser in kurzer Zeit ab oder bleiben doch in ihrer Entwicklung auffallend zurück.

Die Erscheinung, daß gewisse Pflanzen vorwiegend auf Kalkboden, andere wieder vorwiegend auf Kieselboden vorkommen, wurde wiederholt zum Gegenstande sehr ausführlicher Untersuchungen gemacht, und man glaubte auf Grund dieser Untersuchungen annehmen zu können, daß bestimmte Arten eine sehr große oder doch große Menge von Kalk als Nahrung bedürfen, während andere wieder eine sehr große oder doch große Menge von Kieselsäure nötig haben. Hierauf wurde die Einteilung in kalkstete und kalkholde, kieselstete und kieselholde Arten und überhaupt die Lehre von der Bodenstetigkeit der Pflanzen begründet. Die Erklärung, welche man für diese Vorkommnisse gegeben hat, scheint aber, wenigstens für die Kieselpflanzen, nicht zuzutreffen; vielmehr kommen wahrscheinlich die sogenannten kieselsteten Pflanzen auf dem aus Quarz, Granit und Schiefergestein zusammengesetzten Boden nicht wegen der großen Menge von Kieselsäure, sondern darum vor, weil dort große Mengen von Kalk, welche die betreffenden Pflanzen schädigen würden, fehlen und nur jene Spuren dieses Stoffes zu finden sind, die jede Pflanze unumgänglich nötig hat.

Melken, Strandnelken, Wermutarten und Schotengewächse bedürfen, wenn sie sich kräftig entwickeln sollen, verhältnismäßig großer Mengen von Alkalien. Böden, die leicht aufschließbare Salze der Alkalien reichlich enthalten, Orte, wo der Boden von Salzlösungen förmlich getränkt ist, und wo an der austrocknenden Oberfläche fort und fort Salzkristalle ausblühen, der Meeresstrand, die Salzsteppen und die Umgebung von Salinen, sind darum die richtige Heimat für diese Pflanzen. Sie gedeihen dort nicht nur in größter Fülle und Üppigkeit, sondern verdrängen auch alle anderen Arten, denen die große Menge von aufgeschlossenen Alkalisalzen nicht vorteilhaft ist, und die, wenn ihre Samen zufällig auf den Salzboden gelangt sind, zwar aufkeimen, kurze Zeit auch ein kümmerliches Dasein fristen, schließlich aber von den üppigen Melken und Schotengewächsen unterdrückt werden. Solche Gewächse, die nur auf einem an aufgeschlossenen Alkalisalzen reichen Boden üppig gedeihen, hat man Salzpflanzen oder Halophyten genannt. Viele der als Gemüse benutzten Pflanzenarten sind eigentlich aus solchen Halophyten gezüchtet, und sie verlangen darum auch einen Boden, der an löslichen Alkalisalzen verhältnismäßig reich

ist. Es wird später noch darauf zurückzukommen sein, inwieweit die Landwirtschaft von allen diesen Erfahrungen Nutzen gezogen hat, und wie sich insbesondere die Wechselwirtschaft, die künstliche Düngung des erschöpften Bodens, die Zuführung und der Ersatz mineralischer Nährsalze, welche der Ackererde durch gewisse Kulturpflanzen entzogen wurden, auf der Grundlage wissenschaftlicher Forschung in der Praxis eingebürgert haben.

Aufnahme der Nährsalze durch Wasserpflanzen.

In Anbetracht der Nahrungsaufnahme sind nur jene Gewächse als Wasserpflanzen anzusehen, die zeitlebens unter Wasser leben und ihre Nahrung unmittelbar aus dem sie umspülenden Wasser beziehen. Die meisten dieser Gewächse gehen alsbald zugrunde, wenn sie der Luft ausgesetzt werden. Die zarten Zellhäute sind unvermögend, die an der Luft stattfindende Verdunstung aus dem Inneren der Zellen zu verhindern, und das Zellgewebe vertrocknet in kürzester Zeit. Selbst dann, wenn solche Pflanzen mit dem unteren Teil ihres Stengels im Wasser stehen, ist das Verderben nicht aufzuhalten, weil das Wasser nicht so rasch, als es nötig wäre, von untenher in die verdunstenden zarten Zellen der oberen Teile nachströmen kann, da diese Pflanzen nur unvollkommene Leitbündel (Gefäßbündel) besitzen. Nur im Meere gedeihen in der Nähe des Strandes Wasserpflanzen, die verhältnismäßig lange der Luft ausgesetzt sein können, ohne abzusterben. Gewisse Tange, die zur Zeit der Flut ganz untergetaucht sind, erscheinen bei Eintritt der Ebbe den nassen Klippen oder dem feuchten Uferstrand aufgelagert, ohne sofort empfindlichen Schaden zu leiden. Das Gewebe dieser Tange ist stark quellbar, wie Gelatine, hält das Wasser zurück und verhindert das Vertrocknen so lange, bis die Flut wiederkommt und die Standorte unter Wasser setzt. Ein längeres Verweilen an der Luft hat übrigens auch bei diesen Tangen den Tod durch Austrocknen zur Folge.

Man kennt Wasserpflanzen, die in allen Stadien ihrer Ausbildung unter Wasser leben, ohne am Grunde der Wasseransammlung festgewachsen zu sein, die sich also schwebend oder flottierend unter Wasser erhalten. Zu diesen gehören beispielsweise von Samenpflanzen die dreilappige Wasserlinse (*Lemna trisulca*), die Aldrovandie (*Aldrovandia vesiculosa*), das Hornblatt (*Ceratophyllum*), mehrere Arten der Gattung *Utricularia* und von Sporenpflanzen viele Konjugaten und andere Algen. Man findet diese Gewächse ausschließlich in ruhigstehenden Gewässern, wo sich zwar gelegentlich schwache Ausgleichsströmungen zwischen den ungleich erwärmten Wasserschichten, aber niemals heftige Strömungen einstellen. Weitaus häufiger sind solche Wasserpflanzen, die am Grunde der Wasseransammlung durch die Vermittelung von Wurzeln oder Haftorganen festgewachsen sind. Als Beispiele mögen *Elodea*, *Isoetes*, *Najas*, *Ruppia*, *Zannichellia*, *Zostera*, einige *Potamogeton* (*P. crispus*, *densus*, *lucens*, *pectinatus*, *pusillus*), die Armleuchtergewächse (Characeen), mehrere Wassermoose und die zahllosen Tange und Florideen aufgeführt sein. Ein Teil derselben wächst gleich den früher besprochenen in stehenden Gewässern, aber nicht wenige gedeihen auch in der heftigsten Brandung des Meeres und in Gebirgsbächen, die mit raschem Gefälle in ihrem Rinnsale dahinströmen.

Von diesen werden als Unterlage mit Vorliebe Steine und Felsen, von den Tangen und Florideen im Meer aber auch Tiere und Pflanzen gewählt. Muscheln und Schnecken-

gehäuse sind häufig ganz und gar mit Tangen und Florideen überwuchert. Größere Tange, zumal die Sargassum- und Cystosira-Arten, welche förmliche unterseeische Wälder bilden, tragen auf ihren Verästelungen zahlreiche andere kleine Klebepflanzen, insbesondere Florideen, die selbst wieder mit Kolonien winziger Diatomeen überkleidet sein können. Manche dieser hohen, mächtig vom Meeresgrunde sich erhebenden Tange erinnern lebhaft an tropische Bäume, die über und über mit Orchideen und Bromeliaceen bewachsen sind, auf denen sich wieder Moose und Flechten angesiedelt haben. Diese Wohnpflanzen sind aber der Mehrzahl nach weder Schmarotzer noch Verwesungspflanzen. Überhaupt beziehen mittels einzelner Zellen oder Zellgruppen festgeheftete Wasserpflanzen keine Nährstoffe, namentlich keine Nährsalze, aus der Unterlage, der sie aufsitzen. Von der Unterlage abgelöst, erhalten sie sich lange Zeit lebend im Wasser, vergrößern sich und können, wenn sie unter Wasser mit einem festen Körper in Berührung kommen, mit diesem wieder verwachsen. Sehr beachtenswert ist in dieser Beziehung die Erscheinung, daß gewisse Krabbe ihren Rücken ganz und gar mit solchen Wasserpflanzen besetzen, und daß diese Pflanzen dort auch in kürzester Zeit anwachsen. Namentlich sind es einige Krabben, wie z. B. *Maja verrucosa*, *Pisetaetodon* und *armata*, *Inachus scorpioides* und *Stenorrhynchus longirostris*, die mit ihren Scheren Stücke von Tangen, Florideen, Ulven und dergleichen abschneiden, diese auf die obere Seite ihres Kephalothorax bringen und dort an eigene angelförmige und hakenartige Haare befestigen. Solche Bruchstücke wachsen in kürzester Zeit an dem Chitinpanzer der Krabben fest, sind aber den Tieren nichts weniger als nachteilig, sondern ein wichtiges Schutzmittel für sie. Die betreffenden Krabben entgehen nämlich durch diese Maskierung ihren Verfolgern, und es ist sehr merkwürdig, daß jede Krabbenart sich gerade dasjenige Material zur Bepflanzung der Oberseite ihres Körpers wählt, das sie am meisten unkenntlich macht: Krabben, die vorzüglich in den Regionen leben, in denen die *Zyrtosiren* heimisch sind, überkleiden sich mit *Zyrtosiren*, Krabben, die an dem Standorte der Ulven haufen, pflanzen Ulven auf ihren Rücken. Für uns hat diese Erscheinung insofern ein besonderes Interesse, als sie zeigt, daß diese Wasserpflanzen von der Stelle, der sie angeheftet sind, keine Nährsalze beziehen, und daß daher auch die chemische Zusammensetzung der Unterlage für alle diese Tange, Florideen, Ulven usw. vollkommen gleichgültig ist.

Die Nährsalze werden von diesen Wasserpflanzen ohne Zweifel durch die ganze Oberfläche aus dem umflutenden Wasser aufgenommen. Infolgedessen sind ihre oberflächlichen Zellen viel einfacher gebaut als bei den Erdpflanzen. Bei den letzteren sind zur Hebung der Nährsalze aus dem Boden sehr komplizierte Einrichtungen notwendig, und es zeigen vor allem die von der Luft umgebenen oberirdischen Teile, zumal die Laubblätter, eine Reihe besonderer Ausbildungen, die mit dieser Hebung in Zusammenhang stehen. Bei den Wasserpflanzen findet ein solches Herausheben und Herausleiten in die Regionen, wo Nährsalze bei der Bildung organischer Substanz verwendet werden, gar nicht statt, und es sind daher dergleichen Ausbildungen bei ihnen ganz überflüssig. Auch insofern ist die Aufnahme der Nährsalze bei den Wasserpflanzen eine viel einfachere, als die aufnehmenden Teile von der Quelle der notwendigen Stoffe dauernd umgeben sind. Die Wurzeln der Erdpflanzen müssen oft weite Wege machen, um die nötige Menge der Nährsalze in der Erde zu finden, auch müssen sie sich dieselben vielfach erst erschließen, d. h. in den gelösten Zustand überführen. Das alles ist bei den Wasserpflanzen nicht der Fall. Sie sind gewissermaßen von einer Lösung der Nährsalze

rings umspült, und kaum daß die aufnehmenden Zellen den unmittelbar angrenzenden Wasser-schichten Stoffe entzogen haben, so werden diese Stoffe sofort aus der Umgebung wieder nachgeliefert. Selbst in stehenden Gewässern finden, wie schon früher erwähnt, fortwährend schwache, durch die ungleiche Erwärmung der verschiedenen Schichten angeregte Ausgleichsströmungen statt, und es wird kaum eine Wasserpflanze geben, der nicht die ihr nötigen Nährsalze in der geeigneten Form fortwährend zuschießen würden. Mit dieser Art der Nährsalzaufnahme steht auch in Zusammenhang, daß die Teile, mit denen sich die Wasserpflanzen an eine Unterlage heften, einen verhältnismäßig kleinen Umfang zeigen. Tange, welche in ihrer Höhe und ihrem Umfang einem Haselstrauch oder einem Birkenbäumchen gleichen, sind nur durch eine Zellgruppe vom Durchmesser einiger Zentimeter an die Felsen unter Wasser angewachsen.

Die Menge der Nährsalze, die von den Wasserpflanzen aufgenommen wird, ist im Vergleiche zu anderen Pflanzen sehr bedeutend. Bei den Tausenden von verschiedenen Wasserpflanzen, welche im Meere leben, spielen besonders das Natrium und, wie schon hervorgehoben, das Jod eine wichtige Rolle. Bringt man Florideen aus dem Meerwasser in destilliertes reines Wasser, so diffundieren sofort Kochsalz und andere Salze aus dem Inneren der Zellen durch die Zellhaut hindurch in das umgebende salzfreie Wasser. Auch der rote Farbstoff dieser Florideen geht durch die Zellwand hindurch in das umspülende Wasser über, ein Beweis, daß auch der molekulare Aufbau der Zelle auf die Vermittelung des Salzwassers bei den osmotischen Vorgängen der Nahrungsaufnahme berechnet ist.

Die in süßem und brackischem Wasser lebenden Pflanzen nehmen gleichfalls verhältnismäßig viele Nährsalze auf, und es steht damit wohl im Zusammenhange, daß Wasser, welches sehr arm an solcher Nahrung ist, auch nur sehr wenige Pflanzenarten enthält.

Wenn es für die Wasserpflanzen von Wichtigkeit ist, daß ihnen die nötigen Nährsalze durch bewegtes Wasser ununterbrochen zugeführt werden, so sollte man erwarten, daß im fließenden Wasser eine sehr reichliche Vegetation zur Entwicklung kommen würde, da dort nicht erst auf einen Ersatz der durch die Pflanzen der unmittelbaren Umgebung entzogenen Nährsalze auf dem langsamen Wege der Mischung und Ausgleichung gewartet zu werden braucht, sondern das soeben der Nährsalze beraubte Wasser im nächsten Augenblicke durch anderes, frische Nährsalze führendes ersetzt wird. Die Erfahrung zeigt aber, daß strömendes Wasser der Entwicklung der Wasserpflanzen nicht so günstig ist wie ruhiges in den Tümpeln, Teichen und Seen. Zum Teil mag das daher rühren, daß strömendes Wasser meistens arm an Nährsalzen ist, zum Teil mag auch der Umstand ins Spiel kommen, daß der Aufnahme von Salz-molekülen aus lebhaft bewegtem Wasser mechanische Hindernisse entgegenstehen. Nur wenige Pflanzen machen in dieser Beziehung eine Ausnahme, indem sie gerade jene Punkte mit Vorliebe aufsuchen, wo sie dem Anpralle des Wassers am meisten ausgesetzt sind. So trifft man gewisse Klostokazeen (*Zonotrichia*, *Scytonema*) regelmäßig in den Wasserfällen an den Stellen, wo die heftigste Strömung stattfindet; auch *Lemanea*, *Hydrurus* sowie mehrere Laub- und Lebermoose wachsen am liebsten in den schäumenden Raskaden reißender Gießbäche. Von Blütenpflanzen, die sich solche Stellen aufsuchen, sind nur die *Podostemazeen* bekannt, überaus merkwürdige kleine Gewächse, welche man im ersten Augenblicke für Moose oder Lebermoose hält; sie sind vollständig wurzellos, und einige von ihnen, wie z. B. die brasilianischen Arten der Gattung *Lophogyne* und die auf Ceylon vorkommenden *Lawia*- und *Podostemon*-Arten, zeigen

nicht einmal eine Gliederung in Stengel und Blätter, sondern besitzen nur den Steinen angeheftete rhizomähnliche Wurzeln mit unscheinbaren Sprossen. Sie gehören ausnahmslos dem tropischen Erdgürtel an und finden sich dort im Bett der Bäche und Flüsse, angewachsen an Felsklippen, über welche das Wasser mit großer Gewalt schäumend herabstürzt.

Gemeiniglich werden mit dem Namen Wasserpflanzen außer den oben behandelten Gewächsen noch verschiedene andere sich im Wasser entwickelnde Pflanzen bezeichnet, die aber abweichend von den echten Wasserpflanzen die Kohlensäure mittels ihrer grünen Blätter aus der Atmosphäre und die Nährsalze mit Hilfe ihrer Wurzeln der schlammigen Erde im Grunde der betreffenden Wasseransammlung ganz wie Erdpflanzen entnehmen. Im Hinblick auf diese Nahrungsaufnahme hätten diese Gewächse, für welche als Beispiele die Seerose (*Nymphaea*), die Villarsie (*Villarsia*) und der Wasserstern (*Callitriche*) angeführt sein mögen, eigentlich als Erdpflanzen zu gelten; mit Rücksicht auf ihren Standort empfiehlt es sich aber, für sie den Namen Sumpfpflanzen in Anwendung zu bringen. Bezeichnend für sie ist, daß sie zugrunde gehen würden, wenn ihre grünen Blätter längere Zeit im Wasser untergetaucht bleiben müßten. Sie sind eben nicht wie die echten Wasserpflanzen für die Aufnahme der Kohlensäure aus dem sie umspülenden Wasser eingerichtet. Es bringt ihnen keinen ersichtlichen Nachteil, wenn das Wasser an dem von ihnen eingenommenen Standort allmählich tiefer und tiefer sinkt und schließlich ganz verschwindet, so daß sich die grünen Blätter, die früher auf der Oberfläche eines Wassertümpels schaukelten, jetzt von dem in der schlammigen Erde eingebetteten Stamm unmittelbar in die Luft erheben. In allen diesen Lagen und ohne ihre Form zu ändern, decken diese Blätter ihren Bedarf an Kohlensäure aus der sie ganz oder wenigstens an der oberen Seite bespülenden Luft. Auch die Arten der Gattungen *Pistia*, *Trianea*, *Azolla* usw. zeigen bei der Aufnahme der Nährstoffe ein ähnliches Verhalten. Bei hohem Wasserstande schwimmen ihre Stöcke auf dem Wasser, die Laubblätter sind von Luft bestrichen, die Wurzeln von Wasser umgeben. Wenn der Wasserstand sinkt und die bisher schwimmenden Pflanzen auf den schlammigen Boden abgesetzt werden, ist dadurch ihr Leben nicht gefährdet; die Wurzeln entnehmen dann der schlammigen Erde die Nährstoffe, die ihnen früher das über den Schlamm aufgestaute Wasser geboten hatte, ohne daß sich infolge dieser Veränderung irgendeine nachteilige Wirkung an diesen Pflanzen zeigen würde.

Viele Sumpfpflanzen schwimmen gar nicht, wie die obengenannten, mit ihren Blättern auf der Wasseroberfläche, sondern ragen mit langen oder langgestielten Blättern hoch über das Wasser empor, wie der schöne rotblühende *Butomus umbellatus*, *Alisma*, *Plantago*, die Teichbinse, *Scirpus lacustris*, das Schilfgras, *Phragmites communis* und viele andere. Einen Übergang von den echten Wasserpflanzen zu den Landpflanzen bilden die sogenannten amphibischen Pflanzen, die dadurch ausgezeichnet sind, daß ihre grünen Organe, je nachdem sie von Wasser oder von Luft umgeben sind, die Kohlensäure bald diesem, bald jenem Medium entnehmen. Entsprechend den durch die wechselnde Höhe des Wasserstandes geänderten Verhältnissen ändert sich bei diesen merkwürdigen amphibischen Pflanzen auch der Bau und die Gestalt ihrer grünen Laubblätter. Die Blätter, die sich unter Wasser entwickeln, verhalten sich genau so wie die Laubblätter echter Wasserpflanzen; an den Blättern aber, die sich außerhalb des Wassers entwickeln, findet man Einrichtungen, die sie zur Aufnahme der Kohlensäure aus der sie umspülenden Luft befähigen. So zeigen manche Arten der Wasserranunkel-Gattung, *Batrachium*, für den Fall, daß ihre

Stengel zeitlebens unter Wasser getaucht sind, nur Blätter, die in seine fadenförmige Zipfel gespalten und befähigt sind, die Kohlensäure und den zum Atmen notwendigen Sauerstoff aus dem sie umflutenden Wasser aufzunehmen; wenn dagegen an dem Standorte dieser Gewächse das Wasser einen tieferen Stand einnimmt, so haben die Blätter, die gezwungen sind, sich über dem Wasser zu entwickeln und nun der Luft ausgesetzt sind, breite Lappen und einen wesentlich anderen Bau als die, welche sich in der gleichen Höhenstufe des Stengels unter Wasser ausgebildet haben würden. Und wenn aus dem Tümpel, in dessen Grunde sich diese Wasserranunkeln eingewurzelt haben, das Wasser ganz abgeleitet wurde, die Stengel der schlammigen Erde aufliegen und sämtliche Blätter in der Luft ausgebildet werden müssen, so weisen diese durchweg verbreiterte Flächen, helle, grüne Farbe und die zur Aufnahme der Gase aus der atmosphärischen Luft geeignete Organisation auf. Außer den Wasserranunkeln gehören hierher auch mehrere Arten der Gattung Callitriche und Potamogeton, Roripa amphibia, Sagittaria sagittaeifolia usw. Bald verhalten sie sich wie die echten Wasserpflanzen, bald wie die Erdpflanzen, bilden daher ein Bindeglied zwischen diesen beiden Gruppen und zeigen, daß eine scharfe Grenze zwischen den Erd- und Wasserpflanzen nicht besteht.

Aufnahme der Nährsalze durch Erdpflanzen und deren Anpassung an die Bodenverhältnisse.

Bei keiner Abteilung der Gewächse vollzieht sich die Aufnahme der mineralischen Nährsalze in so verwickelter Weise wie bei den Erdpflanzen. Auch ist bei den verschiedenen hierher gehörenden Pflanzenformen die Nährsalzaufnahme nichts weniger als übereinstimmend, und man muß sich hüten, Vorgänge, die man nur an einzelnen Gruppen von Gewächsen, etwa nur an den allgemein verbreiteten Kulturpflanzen, verfolgt und beobachtet hat, zu verallgemeinern. Andererseits kann man auch hier eine Anzahl allgemeiner Regeln durch Beobachtung feststellen.

Schon der Nährboden, welcher den Erdpflanzen die Nährsalze liefert, die Erde, wissenschaftlicher der Boden genannt, ist schwer zu definieren. Von dem feinen Ton, Schlamm und Staub bis zum groben Steinschutt ist eine ununterbrochene Kette von Übergangsstufen vorhanden, und Sand, Lehm, Geröll sind nur einzelne besonders auffällige Glieder derselben. Wie in den Zusammensetzungsstücken, so wechselt der Boden auch in seinem Gehalt an aufgeschlossenen mineralischen Salzen, in der Menge der beigemengten verwesenden Reste von Pflanzen und Tieren, im Zusammenhalten der einzelnen Gemengteile und in der Fähigkeit, das Wasser aufzusaugen, zurückzuhalten und abzugeben. Welch großer Unterschied zwischen dem Quarzsand am Ufer eines Gebirgsbaches, dem mit Kochsalz geschwängerten Sand am Strande des Meeres und dem Sand am Fuße trachytischer Berge; welcher Unterschied weiter zwischen dem Lehm Boden einer Salzwüste und dem Lehm Boden, der sich in einem Granitgebirge durch Verwitterung des Feldspates und unter dem Einflusse einer Jahrhunderte hindurch tätigen Vegetation gebildet hat! Welcher Art das Erdreich aber auch sei, es hat für die Pflanze in erster Linie Wert für den Bezug der obengenannten Nährsalze, in zweiter Linie kommt die verschiedene Aufnahme fähigkeit für Wasser und Wärme in Betracht.

Wie aber verzieht sich der Boden mit Wasser? „Das hat nicht Raft bei Tag und Nacht, ist stets auf Wanderschaft bedacht“, wandert hier als Fluß in den See, als Strom in das Meer, erhebt sich in Dampfform in die Atmosphäre und kehrt wieder als Tau, Regen und Schnee zur Erde zurück. Hier dringt es durch poröses Erdreich in die Tiefe, bis alle Zwischenräume erfüllt sind, und wenn dann undurchdringliche Erdschichten seinem Tiefgang eine Grenze setzen, so verbreitet es sich seitwärts durch den durchlässigen Boden als Grundwasser oder kommt an geeigneten Stellen als Quelle zutage. Ein Boden, der mit den verwesenden Resten toter Pflanzen reichlich durchsetzt ist, vermag auch den Wasserdampf der Atmosphäre aufzunehmen. Immer werden dann gleichzeitig mit dem Wasserdampf auch Kohlensäure und geringe Mengen von Salpetersäure absorbiert. Die atmosphärischen Niederschläge enthalten, wie schon früher erwähnt, gleichfalls Kohlensäure und zuweilen kleine Mengen von Salpetersäure, und auch durch die Verwesung der abgestorbenen Pflanzenteile ist eine Quelle dieser Säuren gegeben. Das in den Boden eindringende atmosphärische Wasser, das Kohlensäure enthält, vermag bei lang dauernder Einwirkung die Verbindungen in allen anstehenden Gesteinen und deren Bruchstücken aufzuschließen. Die kiesel-sauren Verbindungen, die sogenannten Silikate, zumal Quarz, die Feldspate, Glimmer, Hornblende und Augit, welche die überwiegende Masse der Gesteine unserer festen Erdrinde bilden, enthalten entweder viel Kieselsäure, Tonerde und Alkalien, oder sie erscheinen verhältnismäßig arm an Kieselsäure, sind dagegen eisenreich. Die wichtigsten bodenbildenden Gesteine sind die feldspatführenden: Granit, Syenit, Diorit, Basalt, Melaphyr, Trachyt, Phonolith. Zuerst werden durch das kohlen-säurehaltige Wasser und durch hydrolytische Wirkung die Feldspate zersezt. Die Alkalien der Feldspate verbinden sich mit der Kohlensäure oder mit im Boden bei der Zersezung entstandenen Säuren zu löslichen oder unlöslichen Salzen, und ein Gemenge aus Tonerde und Kieselsäure bleibt als Ton zurück. Auch das Eisen geht in die Form löslicher Salze über. Am schwersten werden die Glimmer und fast gar nicht der Quarz zersezt, und diese erscheinen darum auch so häufig in Gestalt von glänzenden Schüppchen und eckigen Körnchen dem durch Zersezung der Feldspate entstandenen Tone beigemengt. Das Ergebnis dieser Zersezungen ist ein Boden, der je nach dem Gestein, aus dem er hervorgegangen ist, bald Ton, bald Quarzsand, bald Glimmer in vorwiegender Menge enthält und in der mannigfachsten Weise und in allen möglichen Abstufungen durch Eisenverbindungen gelb, braun oder rot gefärbt ist. Die chemische Untersuchung solcher Erden ergibt von Bestandteilen, die für die Pflanze aufgeschlossen sind, regelmäßig Kali, Natron, Kalk, Magnesia, Tonerde, Eisenoxyd und Eisenoxydul, Mangan, Chlor, Schwefelsäure, Phosphorsäure, Kieselsäure, Kohlensäure, bald diesen, bald jenen Stoff in relativ größerer Menge und manche Stoffe in oft nur schwer nachweisbaren Spuren.

Kalksteine und Dolomit haben nächst den eben besprochenen Gesteinen an der Zusammensetzung unserer festen Erdrinde den hervorragendsten Anteil. Der Kalkstein besteht zwar vorwiegend aus kohlen-saurem Kalk, der Dolomit aus kohlen-saurer Magnesia, beide Gesteine enthalten aber dort, wo sie in mächtigen Schichten und Stöcken erscheinen, immer auch Tonerde, Kiesel-erde, Eisenoxydul, Mangan sowie Spuren von Alkalien in Verbindung mit Phosphorsäure und Schwefelsäure usw. beigemengt. Durch den Angriff des kohlen-säurehaltigen Wassers wird ein großer Teil des kohlen-sauren Kalkes und der kohlen-sauren Magnesia allmählich aufgelöst und entführt; auch von den eben erwähnten Beimengungen wird ein Teil ausgelaugt. Was zurückbleibt, stellt sich als eine tonige,

lehmige, durch Eisen und Mangan verschiedentlich gefärbte Masse dar, welche dem durch die Zersetzung des Feldspats gebildeten Ton im Aussehen sehr ähnlich ist. Je nachdem die dem kohlenfauren Kalk in dem Gestein beigemengten Stoffe in größerer oder geringerer Menge vorhanden waren, ist der aus dem Kalkgestein hervorgegangene lehmige Boden bald mächtig entwickelt, bald nur in dünnen Lagen, Bändern und Nestern den unzersehten Trümmern des Gesteins aufgelagert und eingeschaltet. Die chemische Untersuchung hat in ihr regelmäßig wieder dieselben für die Pflanze aufgeschlossenen Bestandteile gefunden, welche in den aus den Silikaten entstandenen Böden nachgewiesen wurden, und tatsächlich stimmen die an den verschiedensten Orten und über den verschiedensten Gesteinen gesammelten Böden in qualitativer Beziehung weit mehr überein, als man von vornherein zu glauben versucht ist. Nur ist das Mengenverhältnis gewöhnlich verschoben, da in dem aus den Kalksteinen entstandenen Boden die Kieselsäure und die Alkalien, in der aus Silikaten hervorgegangenen Erde der kohlenfaure Kalk mehr zurücktreten. Dieser Gegensatz ist besonders dann recht auffallend, wenn das zersehte Gestein fast nur aus Quarz und Glimmer oder aus fast reinem kohlenfauren Kalk und kohlenfaurer Magnesia bestand, woraus dann auch nicht ein toniger, sondern, je nach dem Gestein, ein an Quarzsand und Glimmerschüppchen oder an Kalk- und Dolomitsand überreicher lockerer Boden hervorgeht.

Die Umwandlung der Gesteine in Boden durch den Einfluß des atmosphärischen Wassers wird noch wesentlich beeinflusst durch die Zerküftung infolge von Temperaturschwankungen, insbesondere durch Erstarren des in die Gesteinsporen eingedrungenen Wassers zu Eis, ferner durch den mechanischen Einfluß des bewegten Wassers und der bewegten Luft und endlich auch durch die Pflanzen selbst, die mit ihren Wurzeln in die feinsten Spalten und Risse hineinwachsen, und deren abgestorbene Reste sich mit den durch chemische und mechanische Einflüsse zersehten, zersprengten und abgeriebenen Gesteinsteilen mengen.

Die aus dem anstehenden Gestein auf die angegebene Art entstandene Masse nennt man im gewöhnlichen Leben die Erdkrume oder kurzweg die Erde. Die Verwesungsprodukte der Pflanzen und Tiere begreift man unter dem Namen Humus. Erde, die reichlich solche zersehte Pflanzenteile enthält, welcher also viel Humus beigemengt ist, heißt Dammerde.

Jeder, besonders aber der an Humus und Ton reiche Boden hat die merkwürdige, von Liebig entdeckte Fähigkeit, Gase und noch mehr das Wasser und die Nährsalze zurückzuhalten. Übergießt man eine Schicht trockener Dammerde mit Wasser, in dem mineralische Nährsalze gelöst sind, so dringt es in die Räume zwischen den kleinen und kleinsten Erdteilchen ein und verdrängt daraus ziemlich rasch die nur schwach adhärierende Luft, die in Blasen emporsteigt. Erst wenn alle Zwischenräume mit Wasser erfüllt sind und von oben fort und fort neue Flüssigkeit nachdrängt, sickers unten etwas Wasser aus der Erdschicht hervor. Das in den Zwischenräumen aufgespeicherte Wasser wird dort durch die Adhäsion an den Flächen der kleinen Erdteilchen zurückgehalten, und man muß sich jedes Körnchen des Bodens mit einer sehr dünnen Schicht von Wasser überzogen denken. Noch energischer als Wasser werden die mineralischen Nährsalze, die im gelösten Zustand mit dem Wasser eingedrungen waren, von der Oberfläche der Bodenteilchen festgehalten; denn das unten von der Erde abträufelnde Wasser enthält oft gar nichts mehr, jedenfalls immer viel weniger von den Salzen aufgelöst als jenes, das oben auf die Erde aufgegossen worden war; man schließt daraus, daß diese Salze vom Boden teilweise absorbiert wurden.

Wir können uns aber in diesem Falle die Absorption nicht anders vorstellen, als

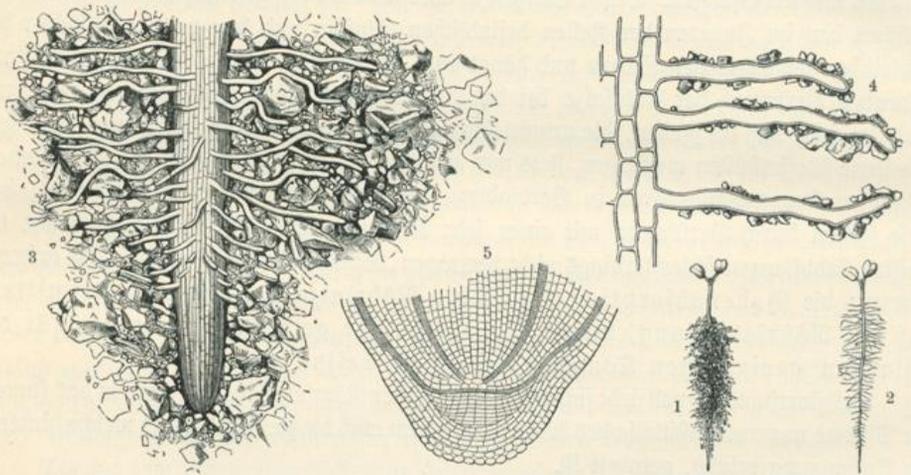
daß die Salze einen ungemein feinen Überzug der winzigen Erdteilchen bilden und von diesen mit großer Kraft festgehalten werden. Soll nun eine in dem Erdreich wurzelnde Pflanze diese Salze als Nahrung aufnehmen, so muß sie die Kraft, mit der die Salzmoleküle im Boden festgehalten werden, überwinden. Da man aus dem Boden durch Wasser fast nichts von den Pflanzennährstoffen auslaugen kann, so ist es eine irrige Vorstellung, die Wurzeln nähmen diese Salze als fertige Lösung aus dem Boden auf. Ist doch der Boden zur Zeit des ausgiebigsten Pflanzenwachstums im Sommer oft monatelang staubtrocken, enthält also keine wässerige Lösung. Es sind die an die Erdteilchen sich herandrängenden und anlegenden Pflanzenzellen, d. h. die Oberflächenzellen der Wurzeln, welche imstande sind, selbst die im Boden absorbierten Salze aufzulösen und aufzusaugen. Dieses Saugen ist aber wieder bedingt durch die Wechselwirkung zwischen den im Inneren der Zellen befindlichen Stoffen und den von den Flächen der Erdteilchen festgehaltenen Salzen und hängt auch ab von dem in den grünen Zellen stattfindenden Verbrauch der Nährsalze bei der Bildung organischer Verbindungen. Dadurch wird erreicht, daß die Zellen, die unmittelbar an die Erdteilchen und an die von ihnen festgehaltene Wasserhüllen angrenzen, stets nur mit einer Nährsalzlösung von gleichbleibendem schwachen Konzentrationsgrad in Verbindung treten können, und es ist verhindert, daß diese Zellen durch Berührung mit einer sehr konzentrierten Nährsalzlösung, welche die meisten Erdpflanzen schlechterdings nicht vertragen, Schaden leiden könnten. Mit anderen Worten: die Bodenabsorption regelt die Nährsalzaufnahme und vermittelt, daß die Nährsalzlösung, welche zur Aufnahme gelangt, immer den für die Pflanzen geeignetsten Konzentrationsgrad besitzt.

Selbstverständlich vollzieht sich der Übergang der Nährsalze aus der Erde in das Innere der Pflanze nur unter Mithilfe des Wassers, mit dem auch die Zellhaut, durch welche hindurch die Aufsaugung erfolgt, getränkt ist.

Die Mehrzahl der Erdpflanzen besitzt zur Aufnahme der Nährsalze besondere Saugzellen. Diese Saugzellen wachsen zwischen die Gemengteile des Bodens hinein und legen sich ihnen an, wobei sie mit einem Teile derselben gewöhnlich auch fest verwachsen. Alle in die Erde eingedrungenen oder der Erde aufliegenden Teile der Pflanze, wenn sie der Nahrungsaufnahme vorstehen, können mit solchen Saugzellen ausgerüstet sein. Ein Laubmoos der deutschen Flora, das auf der Erde unter überhängenden Felsen wächst, wo es auch vom Regen nie getroffen wird, das zierliche *Plagiothecium Nekeroidium*, und eine in Java heimische Art, *Leucobryum Javense*, entwickeln an der Spitze ihrer grünen Blättchen Saugzellen, mehrere zarte Farne aus der Gruppe der Hymenophyllaceen zeigen sie an den Stengeln; viele Lebermoose und die Vorkeime der Farne tragen sie an der unteren Seite ihres flächenförmig ausgebreiteten, der feuchten Erde auflagernden Laubkörpers; am häufigsten aber findet man sie dicht hinter der fortwachsenden Spitze der Wurzeln. Ihre Gestalt ist nicht gerade sehr abwechslungsreich. Bei den meisten Samenpflanzen sind die Oberflächenzellen nach außen gewachsen, so daß die ganze Saugzelle einem äußerst zarten Schlauche gleicht, der senkrecht auf der Längsachse der Wurzel steht (s. Abb., S. 72, Fig. 4).

Mit freiem Auge oder bei mäßiger Vergrößerung gesehen, erscheinen diese zarten Schläuche wie feine Härchen, und sie wurden auch mit dem Namen Wurzelhaare belegt. Manchmal erscheint das Wurzelende wie mit Samt überzogen; die Saugzellen stehen dann sehr dicht gedrängt, und man hat in solchen Fällen über vierhundert davon auf einem

Quadratmillimeter gezählt. In anderen Fällen ist dagegen ihre Zahl wieder so gering, daß auf einen Quadratmillimeter kaum mehr als zehn zu stehen kommen; dann sind sie gewöhnlich sehr verlängert und mit freiem Auge deutlich zu sehen. Meistens schwankt ihre Länge von dem Bruchteil eines Millimeters bis zu 3 mm und ihre Dicke zwischen 0,008 und 0,14 mm. Die Saugzellen einiger im Schlamm wurzelnder Pflanzen, wie z. B. jene der *Trianea Bogotensis*, erreichen die Länge von 5 mm und darüber. In fast allen Fällen sind die Saugzellen der Samenpflanzen ursprünglich einfache Oberhautzellen des betreffenden Pflanzenteils und durch keine Querwand geteilt. Bei den Moosen sind dagegen die Saugzellen immer durch Querwände gegliedert und gewöhnlich auch sehr verlängert. Bei den Lebermoosen der Gattung *Marchantia* bilden sie an dem laubartigen Pflanzenkörper, und zwar



Saugzellen einer Wurzel: 1 Keimpflanze, die langen Saugzellen der Wurzel („Wurzelhaare“) mit Sand verklebt; 2 dieselbe Keimpflanze, der anhängende Sand durch Abspülen entfernt; 3 Wurzelende mit Saugzellen, 10mal vergrößert; 4 einzelne Saugzellen, mit Erdteilchen verklebt; 5 Durchschnitt durch das Wurzelende mit Wurzelhaube, 60fach vergrößert. (Zu S. 71–73.)

an der vom Licht abgewendeten Seite, einen dichten Filz, und einzelne dieser verfilzten Saugzellen erreichen die Länge von nahezu 2 cm. Auch die Stengel vieler Laubmoose sind in einen förmlichen Filz eingehüllt, der besonders an den *Barbula*-, *Dicranum*- und *Mnium*-Arten und überhaupt an allen jenen Formen, die lebhafte grüne Blätter haben, durch die zimtbraune Farbe sehr auffällt. Mitunter sind die langgestreckten, haarförmigen Zellen, aus denen sich dieser Filz zusammensetzt, wie die Schnüre in einem Seil schraubenförmig zusammengedreht, wie das namentlich an den *Widertonen* sehr hübsch zu sehen ist. Man hat diese feinen, haarförmigen, gegliederten, verzweigten, mannigfach verfilzten und auch zusammengedrehten Zellenreihen der Moose *Rhizoiden* genannt.

Die schlauchförmigen Saugzellen, zu denen die Oberhautzellen der Wurzel auswachsen, stehen, wie schon bemerkt, im allgemeinen senkrecht zu der Längsachse dieser Wurzel. Sie wachsen aber nur in sehr feuchtem Boden und selbst da nicht immer geradlinig; in der Regel machen sie bei ihrer Verlängerung die mannigfachsten Biegungen. Sie drängen sich auf diese Weise in die mit Luft und Wasser erfüllten Zwischenräume der Erde ein und können dabei kleine Teilchen der Erde beiseite schieben, was besonders in lockerem sandigen und in schlammigem Boden geschieht. Wenn sie senkrecht auf einen festen, unverrückbaren Gemengteil

des Bodens treffen, so biegen sie seitwärts ab und wachsen, der ihnen entgegenstehenden Wand angeschmiegt, so lange fort, bis sie den unverrückbaren Körper umgangen haben, und folgen dann wieder ihrer ursprünglichen Richtung (s. Abbildung, S. 72, Fig. 3). Bei größeren Erdkörnchen angekommen, machen sie mitunter halt, schwellen kolbenförmig an, der Kolben gabelt sich oder teilt sich in mehrere Äste, und diese umfassen und umklammern das Körnchen, so daß es aussieht, als ob sich die Finger einer Hand um dasselbe gekrümmt hätten. Während manche der Erdteilchen zwischen diesen fingerförmigen Fortsätzen eingeklemmt bleiben, werden andere in den Schlingen und Schraubenumläufen der fortziehlerförmig gedrehten und oft auch verwickelten Saugzellen festgehalten. Die Mehrzahl der Bodenteilchen aber, und zwar sowohl Bruchstückchen von Kalk, Quarz, Glimmer, Feldspat und dergleichen als auch die Reste von Pflanzen, welche der Boden enthält, wird dadurch festgehalten, daß die äußerste Hautschicht der Saugzellen verschleimt und zu einer gequollenen gallertartigen Masse sich umgestaltet, welche die Bodenteilchen umwallt und umfließt. Trocknet dann diese verschleimte Hautschicht aus, so zieht sie sich zusammen, wird starr, und die in sie teilweise eingebetteten Bodenteilchen haften jetzt so fest an den Saugzellen, daß sie selbst bei heftigem Schütteln sich nicht lösen und eher die betreffenden Saugzellen an der Basis abreißen, ehe eine Trennung von dem mit ihnen verbundenen Körper erfolgt.

Die Saugzellen, welche von den Wurzeln der meisten Keimpflanzen, sowie auch die, welche in großer Zahl von den Wurzeln der Gräser ausgehen, sind gewöhnlich ganz dicht mit Erdteilchen besetzt (s. Abbildung, S. 72, Fig. 4), und zieht man solche Wurzeln aus sandigem Boden, so erscheinen sie ringsum von einem förmlichen Sandzylinder (Fig. 1) umgeben. Saugzellen, welche von den in großes Geröll eingedrungenen Wurzeln der *Clusia alba* ausgingen, haften so fest an diesen Geröllstücken, daß bei dem Emporziehen einer solchen Wurzel mehrere Steinchen im Gewicht von 1,8 g hängen blieben. Die gallertartige Masse, in welche die äußerste Hautschicht der Saugzellen aufquillt, hindert nicht im geringsten die Saugwirkung und erschwert durchaus nicht den Durchgang der gelösten Nährsalze. Ebenso wenig bildet die innere Hautschicht, deren Dicke zwischen 0,0008 und 0,01 mm schwankt, für die Saugung ein Hindernis.

Die Saugzellen vermitteln übrigens nicht nur eine Aufsaugung der Nährsalze, sondern sie scheiden auch Stoffe aus. Unter den ausgeschiedenen Stoffen spielt besonders die Kohlensäure eine wichtige Rolle. Durch sie wird nämlich ein Teil der Bodenteilchen, denen die Saugzellen anliegen, zersetzt; dadurch werden Nährsalze in der unmittelbarsten Umgebung der Saugzellen aufgeschlossen, die dann auch auf kürzestem Weg in die Pflanze gelangen können. Doch scheiden die Wurzelhaare offenbar auch andere Säuren aus. Denn wenn man die Wurzelhaare einer Erbsekeimpflanze auf blauem Lackmuspapier zerdrückt, erhält man einen roten Fleck, die Reaktion der Säure. Daß die Wurzeln das unterliegende Gestein förmlich anätzen, ist durch folgenden Versuch nachgewiesen worden. Man bedeckte eine polierte Marmorplatte mit einer Schicht gesiebter Gartenerde und pflanzte einen Bohnen- oder Getreidesamen hinein. Die Wurzeln des Keimlings, nach abwärts wachsend, trafen auf die Marmorplatte und krochen, da sie in diese nicht eindringen konnten, sich vielfach verzweigend auf dem Gestein hin. Dabei ätzten die Wurzelhaare die Platte an und machten sie rauh, so daß endlich ein matter Abdruck des ganzen Wurzelsystems auf der glänzenden Platte zu sehen war.

Es ist wohl auch selbstverständlich, daß jede Pflanze ihre Saugzellen dort entwickelt,

dort hinschiebt und dort in Tätigkeit setzt, wo sich eine Quelle von Nährsalzen findet. Auch die Träger der Saugzellen werden dementsprechend dort hinzuwachsen und sich dort anzulegen haben, wo Nährsalze und zugleich auch das bei der Nährsalzaufnahme so wichtige Wasser zu haben sind. Die schon genannten Marchantien und die Vorkeime der Farne breiten sich flächenförmig über den Boden aus, schmiegen sich dessen Erhöhungen und Vertiefungen an und senken von ihrer unteren Seite Rhizoiden oder Saugzellen in die Zwischenräume des Erdreiches, also nur an der Seite, wo die Feuchtigkeit im Vergleiche zu der gegenüberliegenden Seite anhaltender und daher die Möglichkeit der ununterbrochenen Gewinnung von Nährsalzlösungen größer ist. Ähnlich verhält es sich auch mit den Wurzeln, welche Träger von Wurzelhaaren sind.

Sowohl die von unterirdischen, als auch die von oberirdischen Stengelteilen ausgehenden Wurzeln senken sich mit einer aus ihrem Gewicht allein nicht erklärbaren Kraft abwärts, um in den ernährenden Boden einzudringen. Man sieht diese Erscheinung, die man positiven Geotropismus genannt hat, als eine Wirkung der Schwerkraft an und glaubt, daß die Schwerkraft von der Wurzelspitze als Wachstumsreiz empfunden werde, und daß eine Übertragung dieses Reizes auf die Zone hinter der Spitze, in der das Wachstum der Wurzel stattfindet, erfolgt. Sehr merkwürdig ist, daß auch dann, wenn man abgechnittene Weidenzweige umgekehrt in die Erde oder in feuchtes Moos gesteckt hat, die aus den Zweigen sich bildenden Wurzeln sofort, nachdem sie die Rinde durchbrochen haben, in den feuchten Boden hinabwachsen und dabei die sich ihnen entgegennestenden Erdteilchen, Moosstengel und dergleichen mit ziemlicher Kraft beiseite schieben. Der Anblick solcher umgekehrt in den Boden gesteckter Weidenzweige macht einen um so sonderbareren Eindruck, als die gleichzeitig mit den Wurzeln aus den Laubknospen hervordachsenden Sprosse nicht in der Richtung der Knospenspitzen und Zweigspitzen auswachsen, sondern sich sofort von dieser Richtung abwenden und nach aufwärts krümmen. Die Wachstumsrichtung der von den Weidenstecklingen ausgehenden Wurzeln und Sprosse bleibt demnach immer die gleiche, mag der als Steckling verwendete Zweig mit seiner Basis oder, umgekehrt, mit seiner Spitze in die feuchte Erde gesteckt worden sein. Ähnliches wird beobachtet, wenn man den beblätterten, wurzellosen Sproß eines Fettkrautes (z. B. *Sedum reflexum*) abschneidet und an einem Faden in die Luft hängt. Mag man ihn mit der Spitze nach aufwärts gerichtet, also in jener Lage, in welcher er im Freien gewachsen war, aufgehängt haben oder ihn an dem Faden so anbringen, daß er seine Spitze dem Boden zuwendet, immer entstehen nach kurzer Zeit Wurzeln, die zwischen den fleischigen Laubblättern aus der Achse entspringen und unter spitzen Winkeln der Erde zuwachsen, in dem ersteren Falle demnach in einer von der Sproßspitze abgewendeten Richtung, in dem letzteren Falle sonderbarerweise in der Richtung, welche die Sproßspitze einhält. Die Länge dieser Wurzeln ist durch die Entfernung des aufgehängten Sproßes von der Erde bedingt. Wird der Sproß 2 cm über der Erde aufgehängt, so werden die bodenwärts wachsenden fadenförmigen Wurzeln 2 cm lang, beträgt die Entfernung 10 cm, so erreichen sie die Länge von 10 cm. Diese Wurzeln wachsen überhaupt so lange, bis sie den Nährboden erreichen, entwickeln, solange sie nur von der Luft umspült werden, keine Saugzellen und versehen sich mit diesen erst dann, wenn sie in die nährenden Erde eingedrungen sind. Es ist bemerkenswert, daß diese Wurzeln an dem aufgehängten Fettkrautspieß an Stellen hervorsprossen, wo unter normalen Verhältnissen, d. h. wenn man den Sproß nicht abgechnitten und in die Luft gehängt hätte, keine

Wurzeln entstanden wären. Unter die veränderten Verhältnisse gebracht und dem Verhungern ausgesetzt, sendet die Pflanze gewissermaßen diese Wurzeln zu ihrer Rettung aus. Auch bei anderen Pflanzen kann man dies Wachstum der Wurzeln beobachten, z. B. bei den tropischen Ficus-Arten, dem Banyan und anderen, welche hoch aus ihren Ästen Luftwurzeln bis auf den Boden treiben, und bei den kletternden Philodendron-Arten, die man ja auch in Zimmern kultiviert.

Man wird bei der Betrachtung solcher Vorgänge zu der Auffassung gedrängt, daß die Pflanze wittert, wo sich ihr eine Nahrung darbietet, und daß sie dann nach solchen Stellen hin ihre Rettungsanker auswirft. Aber dieses scheinbare Witterungsvermögen kann weiter dadurch erklärt werden, daß auf die Richtung, welche wachsende Wurzeln einschlagen, neben der Schwerkraft auch noch die Feuchtigkeitsverhältnisse des Bodens einen richtenden Einfluß haben. Die Saugzellen der Wurzeln können Wasser nur dann gewinnen, wenn der Nährboden durchfeuchtet ist. Sobald nun die Wurzeln, namentlich die Verzweigungen derselben, zwischen zwei Regionen zu wählen haben, von denen die eine trockener und die andere feuchter ist, so wenden sie sich immer der letzteren zu, jedoch nicht, weil sie wirklich eine Wahl treffen, sondern weil die größere Feuchtigkeit einen Zwang auf das Wurzelwachstum ausübt. Wenn man Samen der Gartenkresse an eine feucht gehaltene Lehmwand anlegt, so wachsen die Würzelchen, die aus dem Samen hervorbrechen, zunächst abwärts, dringen aber dann seitlich in die feuchte Lehmwand ein. An der trockenen Seite wächst die Wurzel stärker in die Länge als an der entgegengesetzten feuchten, was dann die Krümmung gegen die Quelle der Feuchtigkeit, in dem gewählten Beispiel die feuchte Lehmwand, zur Folge hat. Es ist auch nachgewiesen, daß die Spitze des Würzelchens gegen den Feuchtigkeitsgehalt der Umgebung sehr empfindlich ist. Wenn z. B. von der einen Seite eine feuchte, von der anderen Seite eine trockene Pappscheibe an eine Wurzel herangebracht wird, so wird die Wurzelspitze durch diesen Gegensatz im Feuchtigkeitsgehalt gereizt, der Reiz wird auf den über der Spitze liegenden wachsenden Wurzelteil übertragen, und es wird dort eine Krümmung der Wurzel gegen die Seite veranlaßt, wo sich der feuchte Nährboden befindet. So erklären sich scheinbare Willensäußerungen von Pflanzenorganen durch bloße Reaktionen auf verschieden starke äußere Einflüsse. Man nennt diese Einflüsse Reize und spricht anstatt von Willensäußerungen bei den Pflanzen von ihrer Reizbarkeit.

An Punkten, in deren Umgebung ein Unterschied von Feucht und Trocken nicht besteht, z. B. im Bereich einer dauernd mit Feuchtigkeit gesättigten Luft oder inmitten einer Wassermasse, erscheint der positive Geotropismus der Wurzeln bisweilen ganz aufgehoben. So entwickelt die tropische Aroidee *Anthurium crassinervium* aus dem kurzen Stamme zunächst Wurzeln, die sich der Erde zuwenden; von diesen aber gehen zahlreiche Seitenwurzeln aus, welche eine entgegengesetzte Richtung einschlagen und senkrecht emporwachsen. Diese erheben sich sogar über die Erde in die Luft und sind durch ihren Bau befähigt, Wasserdampf zu kondensieren und das kondensierte Wasser dem Stamme zuzuführen. Aus dem Stamme der in feuchtwarmen Tropenwäldern wachsenden Palme *Acanthorhiza aculeata* schießt man Wurzeln entspringen, die zum Teil eine der Erde parallele Richtung einschlagen, zum Teil aber sich von der Erde abwenden und schräg in die ununterbrochen feuchte Luft emporwachsen. Anfänglich sind diese Luftwurzeln mit einer deutlichen Wurzelhaube versehen; erst später bilden sich an den Enden dieser Wurzeln starre Spitzen aus, durch welche Tiere von den Angriffen auf diese Pflanze abgehalten werden sollen. Auch bei manchen unter Wasser

keimenden Gewächsen ist der positive Geotropismus aufgehoben. Wenn z. B. der Same der Wassernuß (*Trapa natans*) unter Wasser keimt, so tritt zuerst die Hauptwurzel als ein wurmartiges Gebilde aus dem Loche der Nuß hervor und wächst zunächst nach aufwärts; bald wird auch das eine kleinere, schuppenförmige Keimblatt emporgehoben, während das zweite, vielmal größere in der Nuß stecken bleibt. Die ganze Pflanze ist aber noch immer sozusagen auf den Kopf gestellt und wächst mit der Hauptwurzel gegen den Wasserspiegel zu nach oben. Allmählich kommt nun aus der Knospe zwischen den beiden Keimblättern auch der beblätterte Stengel hervor, der sich gleichfalls im Bogen emporkrümmt, um gegen den Wasserspiegel hinzuwachsen; zugleich entwickeln sich aus der Hauptwurzel Nebenwurzeln, denen die Aufgabe zukommt, jetzt, nachdem die im Samen aufgespeicherten Stoffe zum Wachstum aufgebraucht sind, dem umgebenden Wasser Nährstoffe zu entnehmen. Da sie diese, namentlich die im Wasser gelösten Nährsalze, ringsum finden, so wachsen sie auch nach allen Richtungen, nach oben und unten, horizontal nach rechts und links, vorn und hinten, und vermeiden nur sorgfältig, sich zu berühren und sich gegenseitig in ihrem Geschäfte der Aufsaugung zu beirren. Erst viel später biegt sich die bisher mit ihrer Spitze noch immer gegen den Wasserspiegel gerichtete Hauptwurzel bogenförmig nach abwärts, und es entstehen dann auch aus dem Stengel neue, in die schlammige Erde eindringende Wurzeln, was aber für die hier berührten Fragen nicht weiter von Belang ist.

Auch diese Tatsachen lehren, daß es sich bei den Pflanzen nicht um Willensäußerungen, z. B. um einen geotropischen Willen handelt, sondern daß die geotropische Reizbarkeit, welche den Wurzeln allgemein eigen ist, durch äußere oder innere Einflüsse geändert, eingeschränkt oder aufgehoben werden kann.

Wie schon früher erwähnt, werden an den Wurzeln der meisten Erdpflanzen die Wurzelhaare in einer verhältnismäßig schmalen Zone hinter der fortwachsenden Spitze ausgebildet (s. Abbildung, S. 72, Fig. 3) und haben nur ein kurz bemessenes Dasein. In dem Maße, wie die Wurzel wächst und sich verlängert, entstehen, und zwar immer in gleichem Abstände hinter ihrer Spitze, neue Wurzelhaare, während die älteren erschlaffen, zusammenfallen, sich bräunen und zugrunde gehen. In einem Boden, wo die dem Bedürfnis entsprechenden Mengen von Nährsalzen und genügendes Wasser als Lösung- und Transportmittel der Nährsalze allerwärts und zu allen Zeiten vorhanden sind, werden die Saugzellen nur selten schlauchförmig, sondern erscheinen als nach außen zu gar nicht oder doch nur wenig vorgewölbte Zellen. So verhält es sich z. B. bei jenen Alpenpflanzen, welche in den niemals austrocknenden Gruben und Tälchen in der Nähe von Quellen vorkommen, wie bei *Saxifraga aizoides* und vielen anderen. Wo aber die aufzusaugenden Stoffe nicht so leicht zu haben sind, vergrößert sich die Oberfläche der Wurzelhaare, indem die ganze Zelle zu einem Schlauche wird. Auffallend verlängert erscheinen diese Saugzellen in moosigen Waldgründen, wo sich oft ziemlich große Lücken im Erdreich finden. Gelangt eine Wurzel bei ihrem Weiterwachsen in eine solche Lücke des Erdreiches, die mit feuchter Luft erfüllt ist, so werden ihre Wurzelhaare mitunter doppelt so lang als an den Stellen, wo die Wurzeln durch festeres Erdreich gewachsen waren.

Pflanzen, welche durch Verdunstung ihrer Blätter viel Wasser verlieren, müssen auch für einen ausgiebigen Ersatz Sorge tragen, ein möglichst umfangreiches Gebiet im Boden auszunutzen und dementsprechend durch Bildung vieler Wurzelhaare die aufsaugende Fläche zu vergrößern suchen. Aus diesem Grunde besitzen alle Gewächse mit sehr zarten,

dünnen, flach ausgebreiteten, leicht und stark verdunstenden Laubblättern, wie z. B. das zweiblütige Veilchen (*Viola biflora*) und die verschiedenen *Impatiens*-Arten, auffallend viele und lange Wurzelhaare. Dagegen zeigen die Pflanzen, welche starre, lederige, durch eine dicke Oberhaut gegen eine ausgiebige Verdunstung geschützte Blätter haben, wie z. B. die Dattelpalme, platte, tafelförmige, nicht ausgestülpte Saugzellen, weil die Verdunstung bei diesen Pflanzen sehr beschränkt und daher auch die Menge des nachzufaugenden Wassers geringer ist. Dasselbe gilt von den immergrünen Nadelhölzern, bei denen infolge des Baues ihrer starren, durch dicke Hautgewebe geschützten Nadeln das Wasser sechs- bis zehnmal langsamer verdunstet als bei den mit ihnen auf gleichem Boden wachsenden Eichen, Birken, Ahornen und anderen Laubhölzern. Ihren Wurzeln fehlen meistens Wurzelhaare ganz.

Das Wasser und seine Zuleitung zu den Wurzeln.

Wer jemals im Freien von einem plötzlich eintretenden Regen überfallen wurde und sich unter einen Baum geflüchtet hat, wird sich erinnern, daß das Laubdach der Krone ziemlich lange Schutz gewährt, und daß der Boden unter dem Baum entweder gar nicht oder doch nur sehr spärlich benetzt wird. Ein Teil des Regens fließt allerdings an der Borke des Baumstammes herab, und an manchen Baumarten, wie z. B. an der Eibe und Platane, ist die Menge des am Strunk herabgeleiteten Wassers sogar nicht unbedeutend; bei den meisten Bäumen aber ist das auf solche Weise zur Erde gelangende Regenwasser wenig ausgiebig und seine Menge verschwindend klein im Vergleiche zu der Wassermenge, die von dem äußersten Umfange der Baumkrone herabtrieft. Diese Erscheinung wird durch die Lage bedingt, welche die Flächen des Laubes zum Horizont einnehmen. An fast allen unseren Laubhölzern, an den Linden und Birken, Birn- und Apfelbäumen, Platanen und Ahornen, Eichen und Korkastanien, Pappeln und Erlen, sind die Blätter der Krone nach außen zu abschüssig und so übereinander gestellt, daß der Regen, der ein Blatt an den obersten Zweigen trifft, über dessen schiefe Fläche gegen die Blattspitze fließt, sich dort in Tropfenform sammelt, tropfenweise auf die auswärts geneigte Fläche eines tieferen Blattes fällt, sich mit dem auch dort aufprallenden Regenwasser vereinigt und so von Stufe zu Stufe immer tiefer und tiefer, gleichzeitig aber auch immer weiter gegen die Peripherie der Krone gelangt, so daß sich schließlich nach allen Seiten am Baum eine Anzahl kleiner Kaskaden entwickelt. Von den untersten und äußersten Laubblättern der ganzen Krone stürzt dann das Wasser in großen Tropfen auf die Erde, und nach jedem Regen ist der trockene Boden unter der Krone von einer ringförmigen Zone eines reichlich durchfeuchteten Erdreiches umgeben. Gräbt man nun an solchen Stellen nach, so überzeugt man sich, daß gerade bis zu dieser feuchten Zone die Saugwurzeln vordrungen sind. Um junge Bäume, deren Saugwurzeln in einem kleinen Umkreise vom Stamme liegen, ist die Krone noch wenig umfangreich, und dort bildet auch die feuchte Zone einen entsprechend kleinen Kreis; in dem Maß aber, als sich die Regentraufzone erweitert, verlängern sich auch die Feuchtigkeit suchenden Wurzeln, und so halten Wurzeln und Laubkronen in ihrer peripheren Ausbreitung tatsächlich gleichen Schritt.

Übrigens ist eine ähnliche Art der Zufuhr des Wassers nicht nur bei den Laubhölzern, sondern auch bei den Nadelhölzern zu beobachten. Man betrachte einmal die gewöhnliche

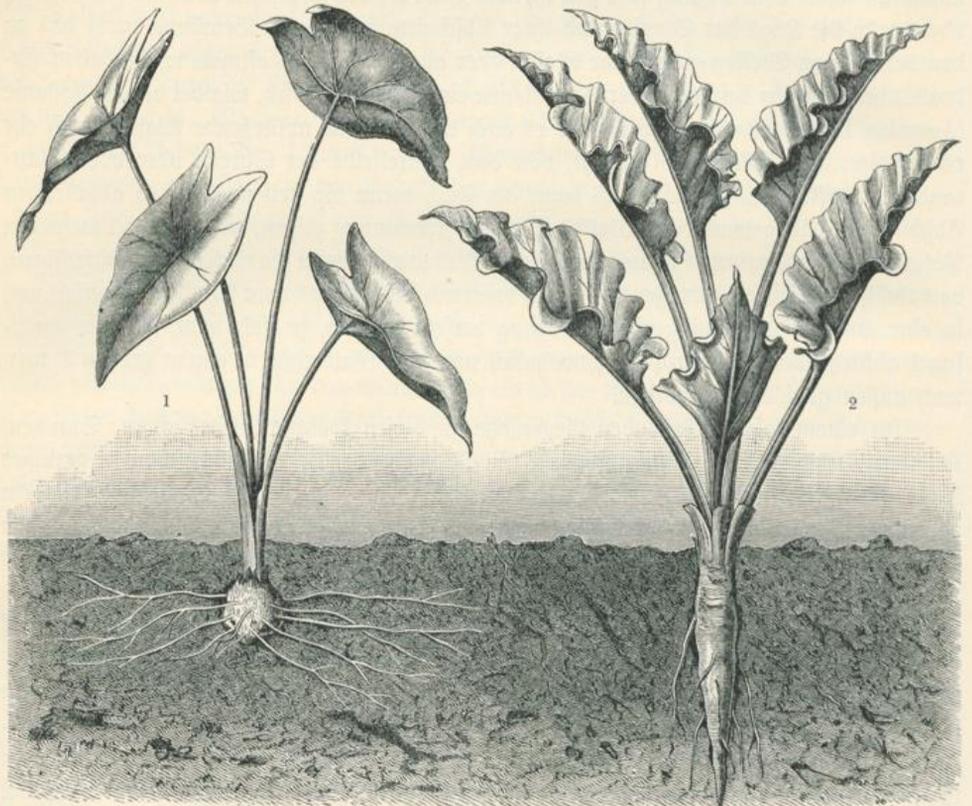
Kiefer. Die Seitenäste sind nahe dem Hauptstamm horizontal, die Zweige bogenförmig nach aufwärts gekrümmt, und die Nadeln in der Nähe der Spitze jedes Zweiges stehen von der Achse schräg nach aufwärts, während die älteren Nadeln, welche etwas von der Spitze entfernt an der unteren Seite dem fast wagerechten Teil des Zweiges aufsitzen, schräg nach abwärts und auswärts gerichtet sind. Die Regentropfen, welche die emporgerichteten Nadeln treffen, gleiten an diesen herab zur Rinde des betreffenden Zweiges und von da zu anderen mit ihrer Spitze nach abwärts und auswärts gerichteten Nadeln. An diesen Spitzen sieht man allmählich große Tropfen entstehen, die sich schließlich ablösen und auf das Nadelwerk eines tiefer stehenden Astes fallen. Bei dieser Art der Leitung kommt das Regenwasser durch die Krone in einer Zickzacklinie immer tiefer nach abwärts und zugleich nach auswärts. Ähnlich verhält es sich bei der Lärche. Die Regentropfen, welche von den aufrechten Nadeln der büschelförmigen Kurztriebe aufgefangen werden, sammeln sich und kommen allmählich zu den Nadeln der herabhängenden Langtriebe tieferer Äste, an deren dem Boden zugewendeten Spitzen immer große Tropfen zu sehen sind, die schließlich eine Traufe zur Erde bilden. Bei dem pyramidenförmigen Bau der Lärche und bei dem Umstande, daß die Langtriebe auch die Endtriebe an jedem Aste sind, gelangt nahezu alles Wasser, welches auf die Lärche herabregnet, zu den Langtrieben, welche von den untersten, am meisten ausladenden Ästen herabhängen. Obschon die Lärchenbäume mit ihren zarten Nadeln gar nicht danach aussehen, als ob ihre Krone gegen den Regen schützen würde, ist der Boden unter ihnen doch trocken und wird die Hauptmasse des einfallenden Regenwassers zur Peripherie hingeleitet; ja, gerade die Lärche gehört auch zu den Bäumen, bei welchen nur wenig Wasser an der Borke des Hauptstammes herabrieselt. Vielmehr wird fast aller Regen, der sie trifft, zu den Saugwurzeln hingeleitet, die sich in einer gewissen Entfernung vom Hauptstamm befinden.

Auch viele Sträucher und Stauden führen das Regenwasser, das ihre schräg nach aufwärts abschüssigen Blattflächen trifft, zu den Stellen des Erdreiches, in welchen die Saugwurzeln eingebettet sind, oder, besser gesagt, die Wurzeln wachsen mit ihren die Saugzellen tragenden Verzweigungen dorthin, wo die Traufe von den Blättern niedergeht und den Boden befeuchtet. Besonders auffallend sind in dieser Beziehung die Arten der Artoideengattungen *Colocasia* und *Caladium*, von welchem auf S. 80 (Fig. 1) ein Stoc abgebildet ist. Gräbt man bei den im freien Lande kultivierten Stöcken dieser Pflanze nach, so findet man regelmäßig die Spitzen der von dem knolligen Wurzelstock in horizontaler Richtung auslaufenden Seitenwurzeln unter den wasserabführenden Spitzen der schräg nach außen geneigten großen Blattflächen in die Erde eingebettet. Es darf auch nicht unerwähnt bleiben, daß die Stiele jener Blätter, die das Wasser zentrifugal ableiten, wie die der Platanen und der Kastanienbäume, vieler Sträucher, Stauden und Kräuter, wie beispielsweise der *Sparmannia* und *Spiraea Aruncus*, ebenso auch der Kletter- und Schlingpflanzen (z. B. *Menispermum*, *Banisteria*, *Aristolochia*, *Hoya*, *Zanonia*, *Tropaeolum*), an ihrer oberen Seite keine Rinne zeigen, sondern stielrund und einem Drahte vergleichbar sind, an dessen oberem Ende die Blattflächen in schräger, nach außen abdachender Richtung befestigt erscheinen. Ist an einer nach außen abschüssigen Blattfläche ein förmliches Rinnensystem entwickelt, so verlaufen die Rinnen meistens entlang den Blattnerven und endigen an der Spitze des Blattes oder an den Spitzen der Blattlappen und Blattzähne, von wo aus dann

das Abträufeln erfolgt. Ein Übergang des Wassers von der oberen auf die untere Seite des betreffenden Blattes findet nur dann statt, wenn sich an der Unterseite Vorrichtungen zum gelegentlichen Auffaugen des Wassers finden, in den meisten Fällen ist aber dieser Übergang verhindert, und das von den Spitzen oder Rändern sich in Tropfenform ablösende Wasser fällt auf die Blätter hinab, welche die nächsttiefere und weiter gegen die Peripherie vorgeschobene Stufe bilden. Wenn die nach außen abschüssige Lage der Blätter oder Blattabschnitte schon vom Anfang sehr steil ist, wie z. B. bei der tropischen *Brownia grandiceps*, oder wenn die Lage der Spreite und ihrer Abschnitte infolge der Belastung durch das an den benehbaren Stellen anhaftende Wasser oder auch infolge des oftmals wiederholten Anpralles der Tropfen bei langdauerndem Regen eine sehr steile wird, wie bei der Rosskastanie (*Aesculus Hippocastanum*), so kommt es auch vor, daß das abfließende Wasser, noch ehe es die eigentliche Blattspitze erreicht, von dem Mittelfelde der Spreite oder vom Blattrende abtropft. Das ist besonders dann der Fall, wenn die steil nach außen abfallenden Abschnitte des ausgewachsenen Blattes eine leise Krümmung zeigen, was z. B. bei mehreren Palmen aus der Gattung *Chamaedorea* beobachtet wird. Wenn die nach außen abschüssigen, von elastischen Stielen getragenen Blätter während des Regens vom Winde geschaukelt und in eine auf und ab schwingende Bewegung versetzt werden, so sieht man, daß die zentrifugal abfließenden Regentropfen gewöhnlich von der Blattmitte in einem großen Bogen nach außen geschleudert werden.

In einem sehr auffallenden Gegensatz zu diesen Bäumen, Sträuchern, Stauden, Kräutern, Kletter- und Schlingpflanzen mit flachgehenden, gewöhnlich schon in geringer Tiefe sich horizontal ausbreitenden Saugwurzeln stehen die Gewächse, welche Zwiebeln oder kurze Wurzelstöcke mit in die Tiefe gehenden Saugwurzeln besitzen, sowie solche, deren tiefgehende, senkrecht absteigende Pfahlwurzel die gerade Fortsetzung des Hauptstengels bildet, und deren Nebenwurzeln kurz bleiben und sich nur wenig von ihrer Ursprungsstätte entfernen. Dieser Gegensatz in den Wurzelbildungen, der in der Abbildung auf S. 80 dargestellt ist, zeigt sich auch oberirdisch an der Gestalt und Richtung der Blattflächen, welche das Regenwasser trifft. Die Blattflächen aller dieser Pflanzen sind nicht nach auswärts, sondern gegen die Mittelachse der Pflanze geneigt; sie sind auch an ihrer oberen Seite konkav, und man sieht dort gewöhnlich ein System von Rinnen, welches das aufgefangene Wasser gegen den Stamm, die Pfahlwurzel und die mit Wurzelhaaren besetzten Nebenwurzeln hinleitet. Die Blätter der Zwiebelpflanzen, beispielsweise jene der Hyazinthen und Tulpen, sind alle schräg aufgerichtet und an der oberen Seite konkav, häufig sogar zu tiefen Rinnen ausgehöhlt. Durch diese Rinnen fließt das Regenwasser in zentripetaler Richtung abwärts und gelangt so direkt zu jener Stelle der Erde, wo die Zwiebeln und die von ihrer unteren Seite ausgehenden, büschelförmig gestellten Wurzeln eingebettet sind. Die jungen Blätter des Blumenrohres und die des Maiglöckchens sind tütenförmig zusammengerollt, und das Regenwasser, das oben in die Tüte fällt, wird längs der gerollten Blattfläche zur Erde und zu den Wurzeln geleitet. Sind die Blätter der mit Pfahlwurzeln ausgestatteten Pflanzen rosettig gestellt und ohne deutlichen Stiel, und liegt die Blattrosette dem Boden auf, wie z. B. bei dem Alraun, dem Löwenzahn und mehreren Wegericharten (*Mandragora officinalis*, *Taraxacum officinale*, *Plantago media*), so findet man an der Oberseite der Blätter immer eine oder mehrere Hauptrinnen, und die Blätter

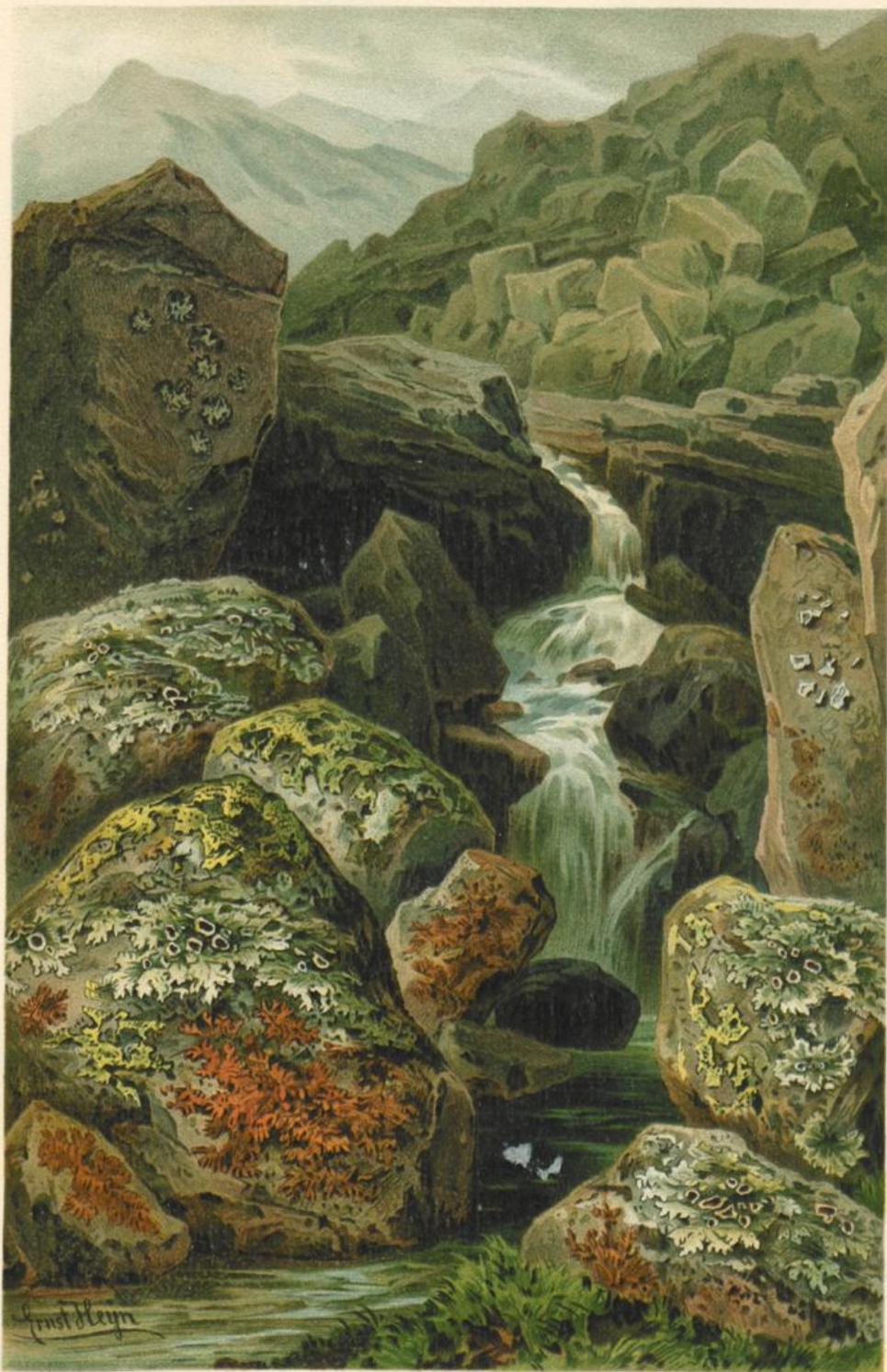
sind stets so gelagert und geformt, daß das auf die Rosette fallende Regenwasser gegen ihre Mitte und der unter der Mitte lotrecht in die Tiefe hinabgewachsenen Pfahlwurzel zufließen muß. Wenn die Pflanzen, die das Regenwasser gegen die Mitte hinleiten, gestieltes Laub haben, so bemerkt man an der oberen Seite der Blattstiele stets eine deutliche Rinne, die häufig noch durch Ausbildung grüner, zuweilen auch trockenhäutiger Säume an den beiden Seitenrändern vertieft ist. Besonders schön sind solche Rinnen an den Stielen



Zentrifugale und zentripetale Ableitung des Wassers: 1 an einem Caladium, 2 an einem Rhabarber. (Zu S. 78—80.)

der grundständigen Blätter der Rhabarber (s. obenstehende Abbildung, Fig. 2), der Kunkelrüben, der Funkien, Päonien und der meisten Beilchen zu sehen.

Die Blätter der hochstengeligen Stauden, die, den Rhabarberblättern ähnlich, Auf-fangschalen für das Regenwasser bilden, können das Wasser dann am besten abwärts leiten, wenn sie stiellos sind und die Basis ihrer Fläche unmittelbar in den Stengel übergeht. Stehen sich die Laubblätter zu zwei und zwei gegenüber, und sind die übereinanderstehenden Blattpaare gekreuzt, eine Stellung, die man die dekussierte nennt, so erfolgt die Abfuhr des überschüssigen Regenwassers gewöhnlich durch zwei Rinnen, die von dem einen zum anderen Blattpaare an dem dazwischenliegenden Stengelgliede herablaufen. Jede Rinne beginnt mit einer Furche zwischen den Rändern der Ansätze eines Blattpaares und endigt über der Mittelrippe eines der Blätter des nächsttieferen Blattpaares. Fließt nun



Flechten auf den Blöcken einer Moräne in den Zentralalpen.
Nach Aquarell von E. Heyn.

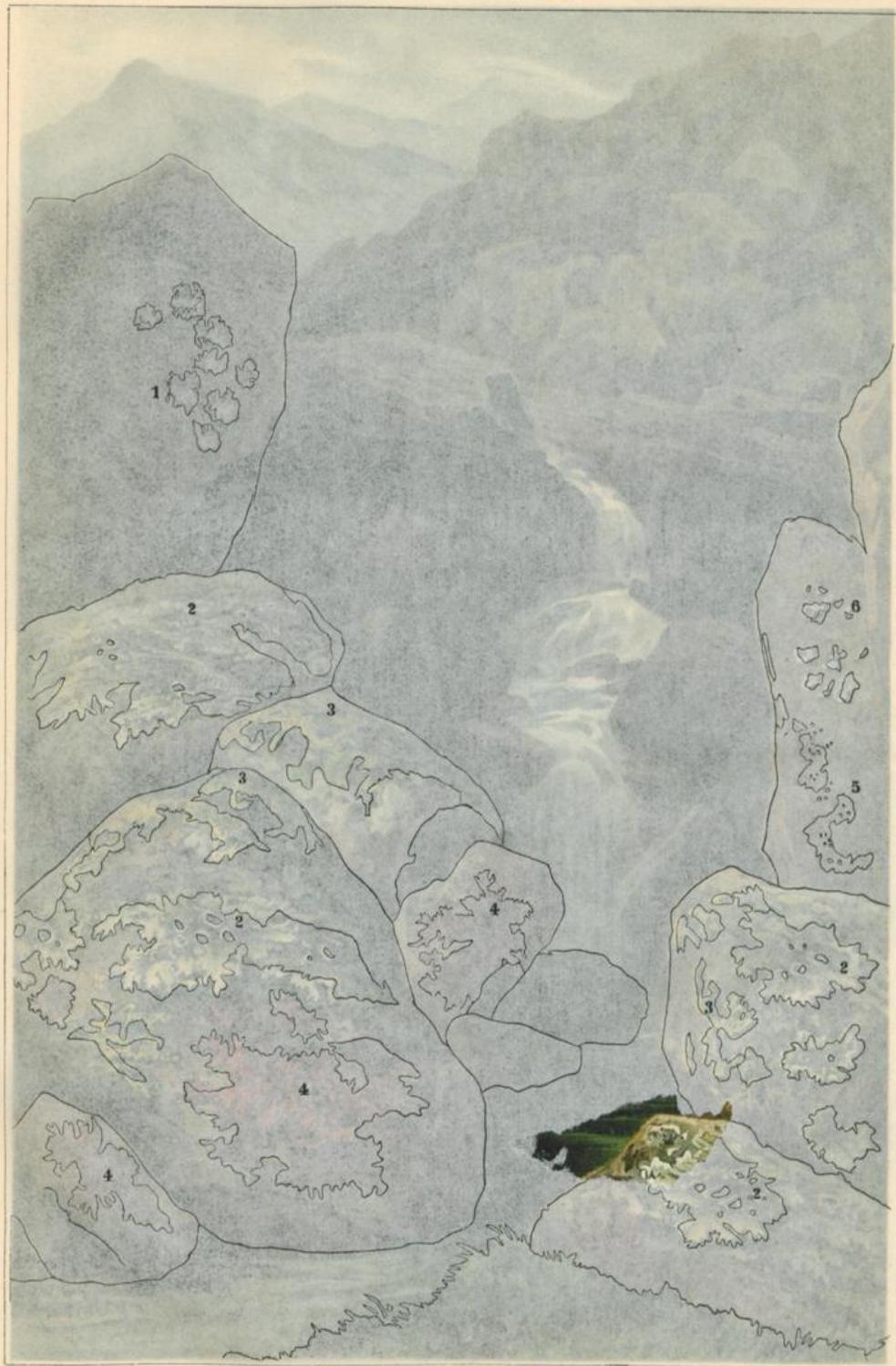
Wasser von obenher durch eine solche Rinne herab, so trifft es gerade die Stelle des tieferen Blattes, wo sich auch das Regenwasser sammelt, das von der Fläche dieses Blattes auf-
gelangen wurde, und so wird der Wasserstrom desto ausgiebiger, je mehr er sich dem Boden
nähert. Diese Rinnen, die man bei vielen Lippenblütlern, Nachenblütlern, Primulazeen,
Gentianeen und Rubiazeen sehen kann, werden von dem abfließenden Wasser stets aus-
giebig benetzt, während die nicht rinnigen Teile desselben Stengels nicht benetzt werden.
Zuweilen sind aber diese Rinnen noch von Haarleisten umsäumt, die das Wasser wie die
Fäden eines Dochtes aufnehmen. Durch beide Einrichtungen wird der Vorteil erreicht, daß
das Wasser von der benetzbaren Rinne oder durch die dochartig leitenden Haarleisten nur
ganz allmählich zur Basis des Stengels hinabsiedert und nicht in Tröpfchen an einer Stelle
abspringt. Unregelmäßig abspringende Tropfen könnten an einer Stelle die Erde treffen,
unter der keine Saugzellen auf das Wasser warten.

Wenn die den Regen zum Stengel hinleitenden Laubblätter nicht paarweise gegen-
überstehen, sondern entlang einer Schraubenslinie am Stengel angeordnet sind, so sicker
auch das Wasser längs dieser Schraubenslinie vom Blatt zu Blatt in die Tiefe. Manchmal
finden sich auch da wieder Rinnen am Stengel, durch welche das Regenwasser abwärts
sickert, wie z. B. an der gewöhnlichen Heidebeere (*Vaccinium Myrtillus*), deren aufrecht
stehende Stängel die niederfallenden Laubblätter in den Vertiefungen des Stängels in die
Tiefe abwärts in die Rinne des Stängels abwärts abfließen lassen. Auch die Stängel
des Buchens, die zur Erde geleitet werden. Bei *Veratrum Album* hat dagegen
jedes der fontanen Stengelblätter an der oberen Seite eine Menge kleiner Längs-
rinne, welche alle an der Blattbasis zusammenfließen. Das dort sich sammelnde Wasser
fließt endlich über und sicker über den stielenden, stiellosen Stengel zur Erde hinab.

Sehr schön ist das Abfließen des Regenwassers in einer Schraubenslinie an vielen
dielehrigen Pflanzen zu verfolgen. Man kann die Regentropfen auch durch Schrot-
körner erzeugen und sieht dann, besonders deutlich an Pflanzen mit kleinen Blättern,
die Bahn, welche den niederfallenden Tropfen längs des blattierten Stengels vorge-
zeichnet ist. Setze kleine Schrotkörner, auf eine ausgewachsene Pflanze des Saffors (*Car-
thamus tinctorius*) oder der auf S. 82 abgebildeten Arznei (*Alfredia cernua*) gestreut,
sollten über die rinnig-lonliche Fläche des obersten, schon aufrechten Stengelblattes
abwärts, prägen gegen den Stengel, den das Blatt mit seiner Basis halb umgibt, hinunter
hin, überfließen dann der Blattbasis rollend, aus dem Bereich des obersten Blattes und
fallen auf die Mitte des nächst tieferen Blattes, da die rinnig umlaufende Basis der Blätter
eine solche Bahn darstellt, daß jedes höher stehende Blatt mit seiner Basis unteren Böden über
eine solche Stelle des nächst tieferen Blattes zu liegen kommt. In ganz ähnlicher Weise
kommen die Schrotkörner vom zweiten auf das dritte Blatt und so fort hinunter, bis
sie endlich dicht neben dem Stengel die Erde erreichen. Die Regentropfen, wie sie auf diese
dielehrigen Pflanzen fallen, verfolgen natürlich denselben Weg, den die Schrotkörner ein-
schlagen, nur sie bevorzugen die Niederfallen der Wassertropfen noch der Umfassung zu berücksichtigen,
daß nicht allein das oberste Blatt, sondern alle Blätter, die der Stengel trägt, zur Aufnahme
von Regen geeignet sind, und daß infolgedessen das abfließende Wasser von Blatt zu Blatt
durch neue Zuflüsse vorwärts, gegen die Basis des Stengels zu mehr und mehr abwärts.

Etwas abweichend von dieser Wasserleitung, wie sie beim Saffor und der niedrigen
Arznei vorkommt, ist die, welche man an der Matronen (*Silybum Marianum*) und der

[Zur Tafel: »Flechten auf den Blöcken einer Moräne.«.]



Flechten auf den Blöcken einer Moräne in den Zentralalpen.

1. *Umbilicaria pustulata*.
2. *Imbricaria caperata*.

3. *Rhizocarpon geographicum*.
4. *Gasparinia elegans*.

5. *Lecidea confluens*.
6. *Gyrophora cylindrica*.

Wasser von obenher durch eine solche Rinne herab, so trifft es gerade die Stelle des tieferen Blattes, wo sich auch das Regenwasser sammelt, das von der Fläche dieses Blattes aufgefangen wurde, und so wird der Wasserstrom desto ausgiebiger, je mehr er sich dem Boden nähert. Diese Rinnen, die man bei vielen Lippenblütlern, Nachenblütlern, Primulazeen, Gentianeen und Rubiazeen sehen kann, werden von dem abfließenden Wasser stets ausgiebig benetzt, während die nicht rinnigen Teile desselben Stengels nicht benetzt werden. Zuweilen sind aber diese Rinnen noch von Haarleisten umsäumt, die das Wasser wie die Fäden eines Dochtes aufnehmen. Durch beide Einrichtungen wird der Vorteil erreicht, daß das Wasser von der benetzbaren Rinne oder durch die dochtartig leitenden Haarleisten nur ganz allmählich zur Basis des Stengels hinabsickert und nicht in Tropfen von einer Stelle abspringt. Unregelmäßig abspringende Tropfen könnten an einer Stelle die Erde treffen, unter der keine Saugzellen auf das Wasser warten.

Wenn die den Regen zum Stengel hinleitenden Laubblätter nicht paarweise gegenüberstehen, sondern entlang einer Schraubenlinie am Stengel angeordnet sind, so sickert auch das Wasser längs dieser Schraubenlinie von Blatt zu Blatt in die Tiefe. Manchmal finden sich auch da wieder Rinnen am Stengel, durch welche das Regenwasser abwärts fließt, wie z. B. an der gewöhnlichen Heidelbeere (*Vaccinium Myrtillus*), deren aufrecht abstehende Blätter die niederfallenden Tropfen zu den von tiefen Rinnen gefurchten Zweigen leiten, durch die sie dann in die Rinnen der tieferen Äste und schließlich am Hauptstamme des Busches bis zur Erde geleitet werden. Am Germer (*Veratrum album*) hat dagegen wieder jedes der konkaven Stengelblätter an der oberen Seite eine Menge tiefer Längsrinnen, welche alle an der Blattbasis zusammenlaufen. Das dort sich sammelnde Wasser fließt endlich über und sickert über den stielrunden, rinnenlosen Stengel zur Erde herab.

Sehr schön ist das Abfließen des Regenwassers in einer Schraubenlinie an vielen distelartigen Pflanzen zu verfolgen. Man kann die Regentropfen auch durch Schrotkörner ersagen und sieht dann, besonders deutlich an Pflanzen mit steifen Blättern, die Bahn, welche den niederfallenden Tropfen längs des beblätterten Stengels vorgezeichnet ist. Solche kleine Schrotkörner, auf eine ausgewachsene Pflanze des Safflors (*Carthamus tinctorius*) oder der auf S. 82 abgebildeten Alfredie (*Alfredia cernua*) gestreut, krollern über die etwas rinnig-konkave Fläche des obersten, schief aufrechten Stengelblattes abwärts, prallen gegen den Stengel, den das Blatt mit seiner Basis halb umfaßt, kommen dann, über einen Lappen der Blattbasis rollend, aus dem Bereich des obersten Blattes und fallen auf die Mitte des nächst tieferen Blattes, da die stengelumfassende Basis der Blätter eine solche Lage hat, daß jedes höher stehende Blatt mit einem seiner unteren Lappen über eine konkave Stelle des nächst tieferen Blattes zu liegen kommt. In ganz ähnlicher Weise kommen die Schrotkörner vom zweiten auf das dritte Blatt und so fort nach abwärts, bis sie endlich dicht neben dem Stengel die Erde erreichen. Die Regentropfen, welche auf diese distelartigen Pflanzen fallen, verfolgen natürlich denselben Weg, den die Schrotkörner einschlagen, nur ist beim Niederfallen der Wassertropfen noch der Umstand zu berücksichtigen, daß nicht allein das oberste Blatt, sondern alle Blätter, die der Stengel trägt, zur Aufnahme von Regen geeignet sind, und daß infolgedessen das ablaufende Wasser, von Blatt zu Blatt durch neue Zuflüsse verstärkt, gegen die Basis des Stengels zu mehr und mehr anschwillt.

Etwas abweichend von dieser Wasserleitung, wie sie beim Safflor und der nickenden Alfredie vorkommt, ist die, welche man an der Mariendistel (*Silybum Marianum*) und der

Eiseldistel (Onopordon), dann an der unten abgebildeten Königskerze (*Verbascum phlomoides*) beobachtet. Die oberen, den Stengel mit zwei Lappen halb umfassenden Blätter sind gerade so aufgerichtet wie beim Safflor und bei der nickenden Alfredie und leiten das Wasser auch genau in derselben Weise nach abwärts; aber die Blätter in der Mittelhöhe



Regenwasserabfuhrung: 1 an der Alfredie (*Alfredia cernua*), 2 an der Königskerze (*Verbascum phlomoides*). (Zu S. 81—82.)

des Stengels sind nur bis zu etwa zwei Dritteln ihrer Länge aufgerichtet, das oberste Drittel mitsamt der Spitze ist nach außen hin abwärts gebogen. Was von den Regentropfen auf dieses äußere Drittel fällt, wird daher in zentrifugaler Richtung abfließen und tropft auch tatsächlich von der Spitze des Blattes ab. Nun sind bei allen diesen Gewächsen die Blätter desto kürzer, je weiter oben sie am Stengel entspringen, so daß sich der allgemeine Umriß der Pflanze mit einer schlanken Pyramide vergleichen läßt. Infolgedessen tropft das Wasser

von den aus- und abwärts gebogenen Spitzen höher stehender Blätter auf eine Stelle eines tiefer stehenden Blattes, die bereits gegen den Stengel zu abfällt und das Wasser gegen die Mitte leitet. So gelangt schließlich doch das ganze, eine solche Pflanze treffende Regenwasser in die nächste Umgebung der Pfahlwurzel und kommt den von dieser ausgehenden Saugwurzeln zugute. Bei der Mariendistel (*Silybum Marianum*) ist der Rand der Stengelblätter sehr stark gewellt, und so entstehen an jeder Seite drei bis vier Hohlkehlen, durch die bei heftigen Regengüssen ein Teil des auffallenden Wassers auch seitlich abfließt. Aber auch dieses seitlich vom Blattrande abträufelnde Wasser kommt auf die zentripetal leitenden Teile tiefer stehender Blätter und vereinigt sich so wieder mit den auf andere Art in die Tiefe gelangenden kleinen Wasserströmen.

Es wäre unrichtig, sich vorzustellen, daß diese Einrichtungen überall zu finden seien. Für manche Pflanze ist es ziemlich gleichgültig, nach welcher Seite das Regenwasser von den Blättern abtropft. So z. B. für alle jene Sumpfpflanzen, die im Schlamm unter Wasser wurzeln, da in diesen Fällen das Wasser beim Abtropfen doch nur in der Wassermasse des Teiches oder Sumpfes aufgeht und nicht zu einer bestimmten Stelle, wo sich die Saugwurzeln finden, hingeführt werden könnte. Bei dem Froschbiß, der Schilfstilie, dem Pfeilkraut (*Alisma*, *Butomus*, *Sagittaria*) ist daher auch ein Zusammenhang zwischen der Richtung und Form der Laubblätter und der Lage der Saugwurzeln nicht zu erkennen.

Dagegen ist bei den rohrartigen Gewächsen (*Arundo*, *Phragmites*, *Phalaris*) eine Einrichtung getroffen, die augenscheinlich den Zweck hat, zu verhindern, daß sich das Regenwasser zwischen Halm und Blatt ansammelt. Wie bei Gräsern überhaupt, ist bei den genannten Rohrarten der Halm mit Knoten versehen, und von jedem Knoten geht ein Laubblatt aus, das den Halm mit seinem unteren Teile wie eine Röhre oder wie die Messerscheide die Klinge umfaßt, während der obere Teil des Blattes flächenförmig, bandartig oder hohlkehlenförmig ausgebreitet ist und weit vom Halm absteht. Jedes Blatt kann wie eine Windfahne um den Halm herumgedreht werden. Dort, wo der scheidenförmige Teil in den abstehenden Teil unter einem stumpfen Winkel übergeht, sieht man dicht an der Beugungsstelle am Rande des Blattes zwei deutliche Eindrückungen, die sich als Ableitungsrinnen darstellen und über die auch ein Teil des als Regen auf die Blattflächen des Röhrchens herabfallenden Wassers abfließt. Überdies ist aber hier noch ein sehr zierlicher Schutzwall in Gestalt einer Leiste oder eines aufrechtstehenden trockenen Häutchens (der sogenannten *Ligula*) angebracht. Dieses Häutchen, das der röhrenförmigen Blattscheide aufgesetzt ist, liegt, wie die Blattscheide selbst, dem Halme dicht an. Kommt nun Regenwasser an diese Stellen geflossen, so staut es sich an dem trockenen Häutchen wie an einem vortrefflichen Schutzwall und fließt rechts und links durch die erwähnten Rinnen ab. So wird verhindert, daß sich Regenwasser in dem Raume zwischen Halm und Blattscheide ansammelt, wo es nichts weniger als vorteilhaft, sondern entschieden nachteilig sein würde. Bei manchen Rohrarten ist die Ableitungsvorrichtung noch wesentlich dadurch vervollständigt, daß am Saume des Häutchens Haare neben der Rinne herabhängen und wie ein Docht das Wasser in eine bestimmte Bahn leiten.

Ein aufmerksamer Beobachter kann noch viele Einrichtungen auffinden, durch die der Regen so aufgefangen und geleitet wird, daß er der betreffenden Pflanze möglichst zum Nutzen gereicht und schädliche Wirkungen beseitigt werden. Alle diese Anpassungen können erst im Laufe einer langen Entwicklung von den Pflanzen erworben worden sein.

3. Die bodenändernde und bodenbildende Tätigkeit der Pflanzen.

Von größtem Interesse ist die Fähigkeit der Pflanzen, sich mit ihren aus zartesten Zellen gebauten Organen dem harten, rauhen Boden anzupassen, um bei seinem wechselnden Wasser- und Nährstoffgehalt unter schwierigen Umständen ihren Lebensunterhalt zu erkämpfen. Der Boden erscheint als das Gegebene, Unveränderliche, dessen Einflüssen die Pflanze sich fügen muß. Aber wenn es auch zunächst so scheint, als ob der Boden nur das Produkt geologischer und chemischer Vorgänge sein könnte, so ergibt sich doch, daß die Pflanzen gleichfalls wieder auf ihn wirken, ihn verändern, umschaffen, weiter- und wiederbilden. Viel mehr als in früheren Zeiten, wo man mit dem Verstande die drei „Reiche“ der Natur scharf auseinanderhielt, erkennt man heute durch sorgfältige Beobachtung die innige Wechselbeziehung und das Zusammenwirken der Lebewelt und des unorganischen Reiches in der Natur. Damit erscheint auch der Boden, der als tote Masse dazuliegen scheint, selbst als etwas Lebendiges, Wandelbares. Wissen wir doch seit mehreren Jahrzehnten, daß Billionen und aber Billionen der kleinsten Lebewesen, die Bakterien, im Boden ihr Wesen treiben, nicht bloß dort lebend, sondern in verborgener bodenverändernder Arbeit. Der bekannte Erdgeruch, der sich aus frisch umgegrabenem Boden entwickelt, wird von einer Bakterie erzeugt, der man den Namen *Streptothrix odorifer* gegeben hat. Andere Bakteriengenoßenschaften, die man insgesamt als „Fäulnisbakterien“ (*Bacterium coli*, *Bacterium Termo* usw.) bezeichnet, zerlegen in den Boden gelangte Tier- und Pflanzenstoffe. Einige von ihnen bemächtigen sich der Eiweißreste, andere zerlegen die Zellulose der Pflanzenabfälle. Bei der Zerlegung der Eiweißstoffe im Boden wird von diesen Bakterien, besonders von *Bacillus mycoides* und *Bacillus subtilis*, Ammoniak gebildet. Mit Kohlenäure und anderen im Boden entstehenden Säuren kann sich das Ammoniak zunächst verbinden, aber sogleich sind andere Bakterien (Nitrobakterien) bereit, die Ammoniakverbindungen zu salpetrigsauren und salpetersauren Salzen zu oxydieren. So bilden sich aus dem immer zuerst entstandenen Ammoniak Nitrite und Nitrate im Boden. Da die höheren Pflanzen der Nitrate zur Ernährung bedürfen, so arbeiten die Bakterien diesen in merkwürdiger Weise vor.

Längst bekannt ist, daß bei der Zerlegung von Pflanzenresten im Boden dunkelgefärbte Substanzen entstehen, die man als Humusstoffe bezeichnet. Ihre chemische Natur ist noch wenig bekannt, um so bekannter ihr Dasein in jeder dunkelgefärbten Erde. Die Humusbildung, die man im kleinen in jeder Gärtnerei bei der Entstehung von Gartenerde durch den Zerfall zusammengehäufte Laubes (Komposthaufen) beobachten kann, und die in den Laubwäldern jahraus, jahrein im Herbst nach dem Laubfall einsetzt, ist ein biologisch und chemisch gleich verwickelter und interessanter Vorgang. Man nennt ihn auch wohl Vermoderung und Verwesung. Von Vermoderung spricht man, wenn sich der Zerfall der Pflanzenreste nur unter dem Einfluß der Atmosphärenkisten vollzieht. Durch den Wechsel von Durchfeuchtung und Austrocknen, durch Regen und Wind, durch Hitze und Kälte und Gefrieren findet eine Lockerung und ein Zerfall der toten Pflanzengewebe statt. Nun kommt der chemische Einfluß von Wasser und vom Sauerstoff der Luft hinzu, und wenn auch sehr langsam, zerfallen die organischen Verbindungen der Pflanzensubstanz in einfachere, in Kohlendioxyd, Wasser, Ammoniak und andere Stoffe. Rascher ist der Zerfall bei der Verwesung, wo immer lebende Organismen, Bakterien und

Fadenpilze mitarbeiten. Die Wirkungen des ersten Angriffes dieser Pilze, namentlich der Bakterien, geben sich allerdings nicht gerade in der angenehmsten Weise kund. Die Eiweißstoffe der Pflanzenreste werden peptonisiert, dann aber bilden sich bei der weiteren Zersetzung flüchtige Verbindungen, namentlich ammoniakalische, Schwefelwasserstoff, flüchtige Fett Säuren, die höchst widerlich riechen. Es sind Formen der Verwesung, welche man gewöhnlich als Fäulnis bezeichnet. Weniger aufdringlich ist die Humusbildung durch die Fadenpilze, die namentlich beim Zerfall des Laubes der Bäume die Hauptrolle spielen. Es sind meist Angehörige der großen Gruppe der Schimmelpilze, *Mucor Mucedo*, *racemosus*, *stolonifer*, *Pilobolus crystallinus*, *Aspergillus glaucus* und *Penicillium glaucum*, unsere beiden, häufig auch auf Speiseresten erscheinenden Hausgenossen. Auch Erysiphe-Arten nehmen an der Verwesung teil. Sie umspinnen und durchwachsen mit ihren haarfeinen, farblosen Fäden die Pflanzenreste, benutzen die darin noch vorhandenen spärlichen Nährstoffe, Stärke, Zucker, Eiweiß, zu ihrer Ernährung, erzeugen auch auf den Stengel- und Blattleichen ihre Sporenträger und zermürben dabei die Pflanzenteile immer mehr. Sie arbeiten damit der Tierwelt des Bodens, namentlich den Ameisen, Regenwürmern u. a., in die Hände, welche die zerfallenen Gewebe fressen und beim Durchgang durch ihren Verdauungsapparat in die krümlige, strukturlose Masse überführen, die man dann Erde nennt. Die Bedeutung der Regenwürmer ist, worauf unter anderen Forschern auch Darwin hinwies, außerordentlich wichtig für diese Art der Bodenbereitung, die für die Pflanzen von Vorteil und notwendig ist, und wir haben hier ebenfalls ein merkwürdiges Handinhandgehen scheinbar grundverschiedener Naturerscheinungen.

In letzter Linie wird durch die zersetzende Tätigkeit der Lebewesen im Boden nur eine Rückkehr der für das Pflanzenleben wichtigsten Verbindungen in jene Regionen bewirkt, welchen sie von der lebenden Pflanze früher entzogen wurden. Kohlenstoff und Stickstoff werden wieder aus ihren Fesseln befreit und kehren in die Atmosphäre zurück, um neuen Generationen dienen zu können. Wir bemerken also einen vollständigen Kreislauf der Nährstoffe, der sich auch auf die Nährsalze erstreckt. Denn das Endergebnis des Zerfalles der Pflanzenreste bei der Humusbildung durch die Pilze ist, daß schließlich neben den Humusstoffen die Mineralsalze ebenfalls frei und von anderen Pflanzen wieder aufgenommen oder vom Wasser leicht ausgewaschen und fortgeführt werden.

Erkennt man aus dem Mitgeteilten deutlich die Fähigkeit der Pflanzen, den fertigen Boden umzubilden, namentlich in chemischer Richtung, so ist es nicht minder wichtig, daß auch die Entstehung des Erdbodens aus den Gesteinen nicht allein den geologischen Kräften überlassen ist. Zwar ist der Boden das Produkt der Verwitterung der Gebirge. Temperaturwechsel zerklüftet die Gebirgzzinnen, gefrierendes Wasser zersprengt sie, die Steinschläge werden von den Gletscherbächen zerrieben als Sand und schwebende Teilchen zu Tal geführt, von den Flüssen weitergeschafft und abgelagert. Aber schon in die Verwitterung greifen die Lebewesen mit ein. Die Bakterien sogar zerstören die Gebirge. Bei ihrem Stoffwechsel scheiden sie Kohlen Säure, oft auch andere Säuren aus, die die Gesteine angreifen. Diese Tätigkeit mag an die des Vogels im Märchen erinnern, der alle hundert Jahre seinen Schnabel am Demantberg weßt, aber wie das Märchen voraussetzt, daß doch in unendlichem Zeitraum der Berg verschwindet, so häuft sich auch die Bakterienarbeit sogar in endlicher Zeit zu merkbarer Wirkung. Algen nehmen diese Tätigkeit auf. Der Alpenreisende kennt jene schwarzen Streifen an senkrechten Felswänden, die aussehen, als ob Tinte herabgeflossen

wäre. Das sind Algenmassen, meist zu den *Oszillarien* gehörig, die sich dort angesiedelt haben, wo das Regenwasser herabrieselt. Sie äßen das Gestein an und zerkrümeln langsam die Oberfläche. Auch die mächtigen Blöcke der Gebirgsbäche, die keiner Pflanze festen Halt gewähren, werden von Algen überzogen. Eine lebhaft ziegelrote, nach Weilchen duftende Alge, *Chroolepus Jolithus*, bildet in Tirol und unseren Mittelgebirgen solche Überzüge und nagt an der Gesteinsoberfläche (vgl. die beigeheftete Tafel „Weilchenstein im tirolischen Ötztale“). Die absterbenden Algen bilden eine zarte Erdschicht, in der nun schon ein kleines Moos mit seinen Rhizoiden wurzeln kann. Wenn man einen Rasen des weitverbreiteten Laubmooses *Grimmia apocarpa* von einer Kalkwand abhebt, so sieht man deutlich, daß das Gestein von den Rhizoiden ganz durchsprossen und mürbe gemacht ist. Durch ihre mechanische und chemische Tätigkeit haben die Rhizoiden staubfeine Körnchen des Gesteins abgetrennt, und das Moos gräbt sich bei seinem Wachstum förmlich in die Unterlage ein.

Die besten Pioniere, den felsigen Boden für andere Pflanzen zu bereiten, sind die Flechten. Mit ihren ungemein zarten Wurzelsäden, die viel feiner sind als die Moosrhizoiden, dringen sie in die feinsten Ritzen der Gesteine ein. Ich führe den Leser zu einem unscheinbaren Denkmal in der Nähe des Schlosses Ambras bei Innsbruck, das als Lieblingsaufenthalt der schönen Welferin berühmt geworden ist. Es ist eine wohl über zwei Jahrhunderte alte Marmorsäule, die zu allen Zeiten dem Wind und Wetter ausgesetzt war. Ursprünglich war die achtseitige Säule zweifellos ganz glatt poliert. Wie aber sieht sie heute aus! Alles ist rauh, uneben, wie ausgenagt, ein Grübchen neben dem anderen. Die Flechten haben alle diese Vertiefungen in langen Jahren eingäht, indem ihre Wurzelsädelchen Kohlensäure ausschieden und den Marmor in löslichen doppeltkohlensauren Kalk verwandelten. Ganz besonders sind es winzige Krustenflechten, die sich nicht nur in die Granitblöcke eingraben, sondern so fest mit ihnen verwachsen, als ob sie zum Gestein gehörten (vgl. die Tafel „Flechten auf den Blöcken einer Moräne in den Zentralalpen“ bei S. 80). So zeigt sich die Landartenflechte *Rhizocarpon geographicum*, welche die Granitblöcke ganzer Bergstürze bedeckt. So arbeiten sie, wenn auch tausend Jahre, an der Zerstörung der harten Oberfläche, bis ein höheres Pflänzchen es wagt, sich auf der dünnen Schicht von Boden anzusiedeln, eine winzige *Saxifraga*, ein Steinbrech, der seinen Namen mit Recht zu tragen scheint, da er auf dem zerbrochenen Gestein wurzelt. Mehr und mehr sammelt sich das ebenso bescheidene wie reizende Heer der „Geröllpflanzen“. Wenn sie weniger das Gestein zerstören, so verdicken ihre jährlich absterbenden Organe doch die dünne Erddecke, und kleine Alpensträucher können Fuß fassen.

So arbeitet immer eins dem anderen vor und bereitet ihm den Lebensweg, und aus der toten Steinwüste entwickelt sich in langen Zeiträumen ein blühender Garten. Selbst auf der glasharten Lava des Vesuv sind es die Flechten, die diese unfruchtbaren Schlacken zuerst besiedeln. In Jahrhunderten zerbröckeln sie die poröse Lava zum Sande, in dem sich dann eine charakteristische Flora lebhaft blühender Pflanzen, *Spartium junceum*, *Centranthus ruber*, *Helichrysum litoreum*, *Scrophularia nodosa* u. a., ansiedelt.

Überall, wo aus zertrümmertem Gestein wieder ein neuer Boden entstehen soll, sind auch wieder die Pflanzen tätig. Staub und Sand, den Wind und Wasser aus dem Gebirge forttragen, fangen die Pflanzen auf, um sie wieder festzulegen. Man braucht nur einen kleinen Rasen des weitverbreiteten, allerwärts auf den Mauern längs der Straßen mit besonderer Vorliebe wachsenden Bartmooses, *Barbula muralis*, abzulösen, um sich zu



„Veilchenstein“ im firolischen Östale.

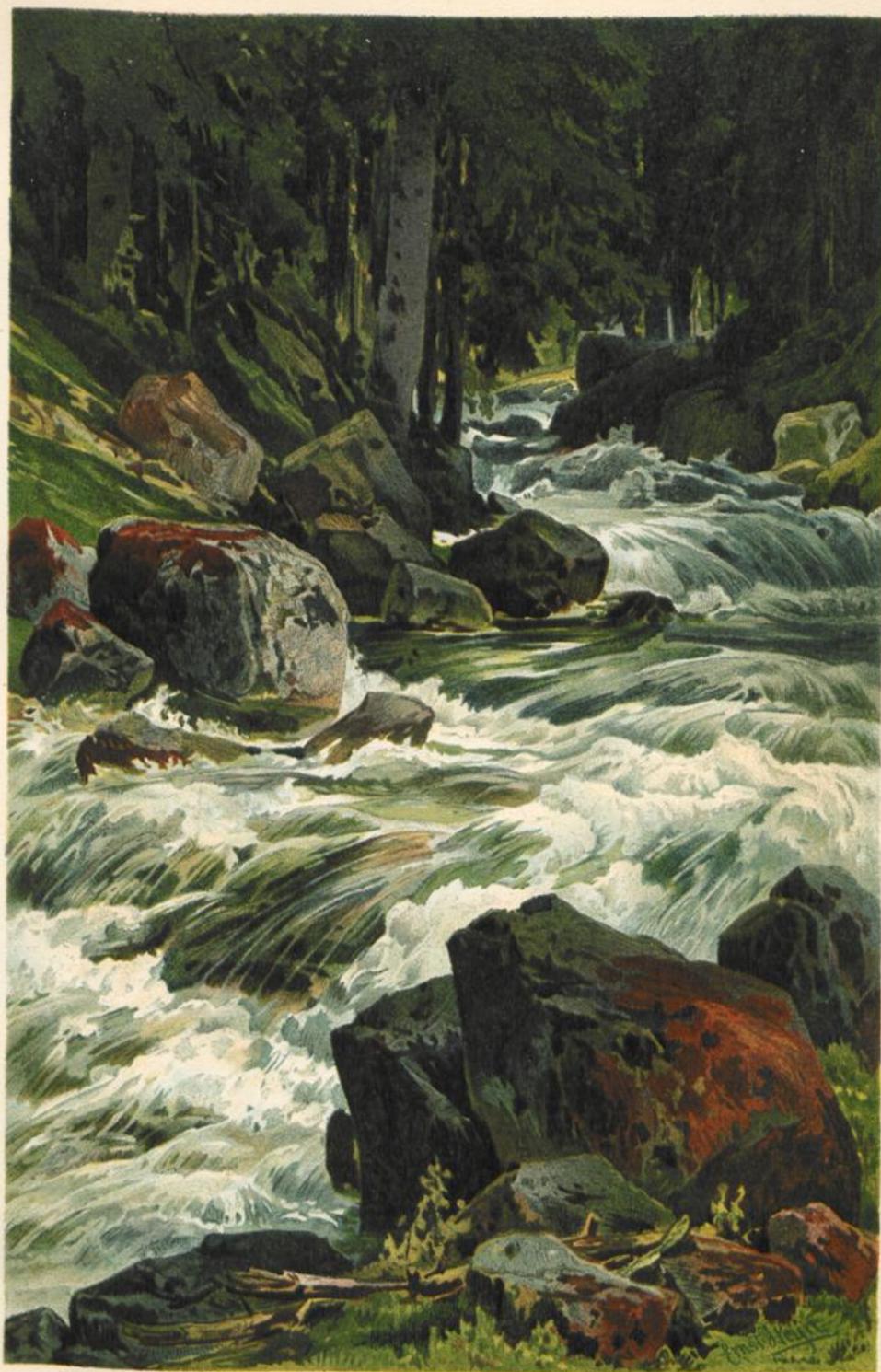
Nach Aquarell von E. Heyn.

wäre. Das sind Algenmassen, meist zu den Desmazarien gehörig, die sich dort angesiedelt haben, wo das Regenwasser herabrieselt. Sie ätzen das Gestein an und zertrümmeln langsam die Oberfläche. Auch die mächtigen Blöcke der Gebirgsbäche, die keiner Pflanze festen Saft gewähren, werden von Algen überzogen. Eine lebhaft ziegelrote, nach Weichseln duftende Alge, *Chroolepusolithus*, bildet in Tirol und unseren Mittelgebirgen solche Überzüge und nagt an der Gesteinsoberfläche (vgl. die beigeheftete Tafel „Weichselstein im tyrolischen Ostale“). Die absterbenden Algen bilden eine zarte Erdschicht, in der nun schon ein kleines Moos mit seinen Rhizoiden wurzeln kann. Wenn man einen Rasen des weitverbreiteten Raubmooses *Grimmia apocarpa* von einer Kalkwand abhebt, so sieht man deutlich, daß das Gestein von den Rhizoiden ganz durchsprossen und mürbe gemacht ist. Durch ihre mechanische und chemische Tätigkeit haben die Rhizoiden staubfeine Körnchen des Gesteins abgetrennt, und das Moos gräbt sich bei seinem Wachstum förmlich in die Unterlage ein.

Die besten Planiere, den festen Boden für andere Pflanzen zu bereiten, sind die Flechten. In ihren ungemein zarten Wurzelfäden, die viel feiner sind als die Moosrhizoiden, dringen sie in die feinsten Ritzen der Gesteine ein. Ich führe den Leser zu einem unjensehbaren Denkmal in der Nähe des Schlosses Ambras bei Jambroch, das als Lieblingsaufenthalt der schönen Welscherin berühmt geworden ist. Es ist eine wohl über zwei Jahrhunderte alte Marmorsäule, die zu allen Zeiten dem Wind und Wetter ausgesetzt war. Ursprünglich war die achteckige Säule zweifellos ganz glatt poliert. Wie aber sieht sie heute aus! Alles ist rauh, uneben, wie ausgenagt, ein Grübchen neben dem anderen. Die Flechten haben alle diese Vertiefungen in langen Jahren eingegraben, indem ihre Wurzelfäden Kohlen säure ausschieden und den Marmor in löslichen doppeltkohlen sauren Kalk verwandelten. Ganz besonders sind es winzige Krustenflechten, die sich nicht nur in die Granitblöcke eingraben, sondern so fest mit ihnen verwachsen, als ob sie zum Gestein gehörten (vgl. die Tafel „Flechten auf den Blöcken einer Moräne in den Zentralalpen“ bei S. 80). So zeigt sich die Landartenflechte *Rhizocarpon geographicum*, welche die Granitblöcke ganzer Bergstürze bedeckt. So arbeiten sie, wenn auch tausend Jahre, an der Zerstörung der harten Oberfläche, bis ein höheres Pflänzchen es wagt, sich auf der dünnen Schicht von Boden anzusiedeln, eine winzige *Saxifraga*, ein Steinbrech, der seinen Namen mit Recht zu tragen scheint, da er auf dem zerbrochenen Gestein wurzelt. Mehr und mehr sammelt sich das ebenso bescheidene wie reizende Moor der „Geröllpflanzen“. Wenn sie weniger das Gestein zerstören, so verdicken ihre jährlich absterbenden Organe doch die dünne Erdbede, und kleine Alpensträucher können Fuß fassen.

So arbeitet immer eins dem anderen vor und bereitet ihm den Lebensweg, und aus der toten Steinwüste entwickelt sich in langen Zeiträumen ein blühender Garten. Selbst auf der glasharten Lava des Vesuvius sind es die Flechten, die diese unfruchtbaren Schlacken zuerst besiedeln. In Jahrhundertten zerbröckeln sie die poröse Lava zum Sande, in dem sich dann eine charakteristische Flora lebhaft blühender Pflanzen, *Spartium junceum*, *Centranthus ruber*, *Helichrysum litoreum*, *Scrophularia hirsuta* u. a., ansiedelt.

Überall, wo aus zertrümmertem Gestein wieder ein neuer Boden entstehen soll, sind auch wieder die Pflanzen tätig. Staub und Sand, den Wind und Wasser aus dem Gebirge fortragen, fangen die Pflanzen auf, um sie wieder festzulegen. Man braucht nur einen kleinen Rasen des weitverbreiteten, abwärts auf den Mauern längs der Straßen mit besonderer Vorliebe wachsenden Bartmooses, *Barbula muralis*, abzulösen, um sich zu



„Veilchenstein“ im firolischen Östale.
Nach Aquarell von E. Heyn.

überzeugen, wie ausgiebig der Straßenstaub zwischen die Stämmchen und Blätter eingelagert ist, und wie fest er dort anhängt.

Aber nicht etwa nur der Staub, der von der Straße aufwirbelt, auch jener der Beobachtung so leicht entgehende Staub, der in abgelegenen Gebirgstälern, über den eisigen Gefilden der arktischen Zone und in den höchsten Regionen der Erdfeste die Luft zeitweilig erfüllt, wird dort von den Moosen und Lebermoosen wie auch von manchen Samenpflanzen, welche ein den Moosen ähnliches Wachstum zeigen, aufgefangen. Zwischen den Stämmchen der dunkeln Grimmien, Andreaen und anderer Felsenmoose, die in kleinen, polsterförmigen Rasen den windgepeitschten Klippen des Hochgebirges aufsitzen, haftet nicht viel weniger Staub als an dem Bartmoose längs der staubigen Straßen. Löst man einen solchen Rasen von seiner Unterlage ab, so rieseln Glimmerschüppchen, kleine Quarzkörnchen, Feldspatplättchen und zahlreiche winzige organische Bruchstücke als mehliges Pulver zwischen den Moosstämmchen hervor, ein anderer Teil dieser Feinerde bleibt an den Stämmchen und Blättern hängen und ist mit diesen förmlich verwachsen.

Niemals aber erscheint der noch frische, lebendige obere Teil dieser beblätterten Moosstämmchen als Staubfänger und Staubträger, sondern immer sind es die abgestorbenen, älteren unteren Teile. Nur die mumifizierte oder schon in Vermoderung übergehende untere Hälfte der Rasen ist infolge eigentümlicher Veränderungen der abgestorbenen Zellgewebe befähigt, den atmosphärischen Staub festzuhalten. Bei halbwegs größeren Rasenpolstern erscheint dann der untere Teil als kompakte, halb aus gefangenem Staube, halb aus den abgestorbenen braunen Moosstämmchen zusammengesetzte Masse. Diese über die Felsklippen gewölbten kleinen Polster werden aber jetzt zum Keimbeete für eine ganze Menge Samen, die durch den Wind herbeigetragen wurden und gleich dem Staube hängen geblieben sind. Die aus diesen Samen hervorgehenden Keimpflanzen dringen mit ihren Würzeln in den unteren, mit Staub und Feinerde erfüllten Teil des Moosrasens ein, finden hier alle Bedingungen für ihre Ernährung erfüllt, wachsen über den Moosrasen empor, breiten sich aus, unterdrücken allmählich die Moose, von denen sie so gastlich aufgenommen worden waren, und bilden schließlich eine Schicht von Samenpflanzen, in der Gräser, Nelken und Korbblütler besonders reichlich vertreten sind.

Fast noch mehr als die Stein- und Erdpflanzen besitzen viele Wasserpflanzen, namentlich Wassermoose, Algen und Lauge, die Fähigkeit, anorganische Partikel festzuhalten, und üben so als Schlammfänger auf die Gestaltung des Bodens einen tiefgreifenden Einfluß. Mit Staunen nimmt man wahr, wie Gewächse, welche dem heftigsten Anprall der Sturzwellen ausgesetzt sind, nichtsdestoweniger den bei Hochwasser mitgetriebenen feinen Sand in außerordentlich großer Menge fangen und festhalten. Die Rasen des dunkelgrünen Langes *Lemanea fluviatilis* sowie jene des Wassermooses, *Cinclidotus riparius*, die in den Rasenläden der rasch flutenden Gebirgsbäche an den Felsen haften, sind ganz durchsetzt von Sand und Schlamm und können von diesem erst beim Austrocknen und Schrumpfen des Gewebes entblößt werden. An dem in trüben Gletscherwassern vorkommenden Moose *Limnobium molle* hängen die erdigen Teile immer in solcher Menge an, daß nur die grünen Spitzen der beblätterten Stämmchen über den grauen, eingeschlammten Polstern sichtbar werden. Die das Rinnsal anscheinend klarer, sanft dahingleitender Bäche erfüllenden filzigen Massen der *Vaucheria clavata* sind so mit Schlamm durchsetzt, daß in einem Ballen dieser Alge das Gewicht des Schlammes das der Alge selbst um das Hundertfache übersteigt.

Und auch hier unter Wasser sind es nicht die Lebendigen, sondern die abgestorbenen Teile der Pflanze, welche als Schlammfänger dienen. An dem herausgehobenen Ballen sieht man deutlich, daß nur die obersten und jüngsten Verlängerungen der fadenförmigen Schläuche des ganzen Algenpolsters mit Chlorophyll erfüllt und lebendig sind, die Hauptmasse ist verblichen und abgestorben. Aber gerade diese abgestorbenen Teile, die einen dichten Filz von verwobenen Fäden bilden, halten in ihren Maschen den feinen Schlamm und Sand in so überraschend großer Menge zurück; an den grünen, lebendigen Teilen gleitet er ab, ohne anzuhängen. Es ist hierbei der Umstand von Bedeutung, daß die abgestorbenen Zellen etwas aufquellen, und daß in dieser aufgequollenen weichen Unterlage die feinen Schlammteile sich besser einlagern können. Man sieht das sehr deutlich auch an entrindeten Holzstücken, die als Pfähle in heftig strömendem Wasser eingerammt werden, oder an Baumstämmen, die bei Hochwasser irgendwo am Ufer abgelagert und festgeklemmt wurden, und deren entrindete Äste in das Rinnsal vorstehen. Selbst dann, wenn solches Holz der stärksten Strömung ausgesetzt ist, überzieht es sich nach kurzer Zeit mit einer grauen Schicht aus erdigen, von dem Wasser mitgeführten Teilchen. Schneidet man davon ein Stück ab und bringt es an die Luft, so löst sich der erdige Beschlag erst dann ab, wenn die Holzzellen austrocknen und zusammenschrumpfen. Solange diese feucht sind, bleiben auch die Schlammteilchen an der aufgequollenen Holzmasse hängen.

Und immer interessanter erscheint uns die Verbindung der Pflanzen mit der Welt des Gesteins. Sie zerstören nicht nur, sie sammeln nicht bloß, sondern sie helfen die Erdrinde wieder mit aufbauen. In der rieselnden Quelle der Gebirgsgegenden, in den stehenden Tümpeln des Flachlandes und nicht weniger in der Tiefe des Meeres finden sich Pflanzen, welche aus den im Wasser gelösten Kalksalzen kohlen-sauren Kalk in Form von ansehnlichen Krusten auf Blättern und Stengeln niederschlagen. Es steht fest, daß nur die lebenden Wasserpflanzen sich mit Kalk inkrustieren, nicht die abgestorbenen Teile. Dagegen ist es nicht sicher, ob die ältere Ansicht richtig ist, daß diese Pflanzen den Bicarbonaten die Kohlen-säure für ihre Ernährung entreißen und dabei den kohlen-sauren Kalk niederschlagen.

An den Rinnsalen der Quellen, welche doppeltkohlen-sauren Kalk gelöst aus der Tiefe des Berges mitbringen, wuchern regelmäßig zahlreiche Moose: *Gymnostomum curvirostre*, *Trichostomum tophaceum*, *Hypnum falcatum* und andere mehr. Diese Moose sowohl als auch mehrere Algen aus den Gattungen *Oedogonium* und *Cladophora*, insbesondere aber aus dem Stamme der *Chano-phyceen* (*Dszillarien*, *Rivularia* u. a.), inkrustieren sich in der oben angegebenen Weise ringsum mit Kalk, wachsen jedoch in dem Maß an der Spitze weiter, als die älteren, unteren, ganz in Kalk eingebetteten Teile absterben. Dadurch aber wird der Boden des Rinnsales selbst ganz verkalkt und erhöht, und es entstehen im Laufe der Zeit Bänke von Kalktuff, die eine bedeutende Mächtigkeit erreichen können. Man kennt auf diese Weise entstandene Kalktuffwände, die eine Höhe von 16 m zeigen, und an deren Aufbau die Pflanzen wohl über 2000 Jahre gearbeitet haben müssen.

In ähnlicher Weise entstehen unter Wasser an der Küste des Meeres die Nulliporen-kalkbänke, welche die von Ransonnet in der Grotte des Seebären auf der Insel Buji in Dalmatien mit vollendeter Naturwahrheit aufgenommene Tafel „Nulliporenbänke im Adriatischen Meere“ bei S. 90 zur Anschauung bringt. Eine ganze Reihe von Lithothamnium- und Lithophyllum-Arten, die unter dem Namen Korallineen in die Abteilung der Florideen gestellt werden, vor allen das auf der Tafel im Vordergrund unten dargestellte

Lithophyllum decussatum, dann die an den oberen Felsen sichtbaren *Lithophyllum cristatum* und *Corallina officinalis* scheiden nicht nur in ihren Zelloberflächen kohlensauren Kalk aus, sondern inkrustieren sich so dicht mit diesem Stoffe, daß ein abgebrochenes und aus der Meeres Tiefe heraufgebrachtes Stück vollständig den Eindruck einer, freilich porenlosen, Koralle macht. Da diese Florideen gesellig in ganzen Beständen wachsen, und da, wie bei den früher erwähnten Moosen, von den jüngeren Sprossen die abgestorbenen älteren als Unterlage benutzt werden und sich so allmählich ein Stock auf dem anderen aufbaut, so kommt es schließlich zur Entwicklung mächtiger Bänke, die in die blaue Flut kippenartig vorspringen und häufig so übereinander gestellt sind, daß man bei der Ebbe am Rand einer der tieferen Bänke wie auf einem schmalen Gesimse eine Strecke weit fortschreiten kann, wie das namentlich in der erwähnten Grotte der Insel Buzi der Fall ist.

Tausendblatt und Hornblatt (*Myriophyllum* und *Ceratophyllum*), Wasserranunkeln (*Ranunculus divaricatus* und *aquatilis*) und insbesondere zahlreiche Arten der Laichkräuter und Armleuchtergewächse (*Potamogetoneae* und *Characeae*), welche, ausgedehnte Bestände bildend, in den ruhigen, stillen Gewässern des Binnenlandes, zum Teil auch in brackischem Wasser an den Meeresmündungen der Flüsse wachsen, umgeben ihre zarten Stengel und Blätter im Verlaufe des Sommers mit Kalkkrusten, ziehen aber im Herbst ein, d. h. ihre Stengel und Blätter zersetzen sich, verweseln und zerfallen, und bald darauf ist kaum mehr eine Spur ihrer organischen Masse zu sehen. Die Kalkkrusten aber erhalten sich, lösen sich von den in Verwesung übergehenden Blättern und Stengeln, sinken dort, wo die inkrustierte Pflanze gestanden hatte, auf den Grund des Gewässers hinab und bilden hier eine sich von Jahr zu Jahr erhöhende Schicht.

Wer es versucht, die abgelegenen, einsamen Wasserwildnisse in den Flachseen der Niederungen zu durchforschen, wird die Überzeugung gewinnen, daß eine derartige Anhäufung von Kalk sehr ausgiebig sein muß. Wenn man dort mit dem Boot über Stellen hingleitet, wo die mit Kalk inkrustierten *Chara rudis* und *ceratophylla* dicht gedrängt in großer Menge beisammen stehen, so knirscht und rauscht es im Wasser, als ob feines, dürres Reisig zerbersten würde. Unzählige Armleuchterstämmchen splintern unter dem Anstoße des Bootes, und wenn man die Bruchstücke aus dem Wasser heraushebt, so glaubt man ein Häufwerk brüchiger Kristalle einer Mineraldruse in den Händen zu haben. Welche Menge kohlensauren Kalkes muß da alljährlich im Grunde der Seen, Teiche und Tümpel abgelagert werden! Von den Laichkräutern sind besonders *Potamogeton lucens* und *natans* hervorzuheben, deren große glänzende Blätter eine Kalkkruste erhalten, die sich beim Trocknen der Pflanzen ablöst und in Schuppen abfällt. Eine sorgfältige Wägung ergab, daß ein einzelnes Blatt von *Potamogeton lucens* im Gewichte von 0,492 g mit einer Kalkkruste im Gewichte von 1,040 g überzogen war. Wenn nun ein Sproß dieses Laichkrautes, der fünf Blätter entwickelt hat und einen Raum von 1 qdm überdeckt, im Herbst verwest und der Kalk auf den Grund des Teiches hinabsinkt, so kommt auf je ein Quadratdezimeter des Seegrundes alljährlich eine Ablagerung aus kohlensaurem Kalk im Gewichte von ungefähr 5 g, und wenn sich dieser Vorgang alljährlich wiederholt, so ist der Grund des Teiches schon nach zehn Jahren mit einer aus kohlensaurem Kalk und Spuren von Eisen, Mangan und Kieselsäure bestehenden Schicht im Gewichte von 50 g überlagert. Die sich von *Potamogeton lucens* ablösenden und auf den Grund des Wassers versinkenden Kalkschuppen haben 0,2 mm Durchmesser. Wenn sich solche Kalkschuppen hundert Jahre hindurch übereinander schichten, so erreicht

die Ablagerung die Dicke von 2 cm, und in 5000 Jahren hat sie die Mächtigkeit eines Meters erreicht. In Wirklichkeit ist übrigens die jährlich abgesetzte Kalkmasse gewiß noch größer, weil sich den Kalkschuppen auch noch die Schalen von Wasserschnecken, Muscheltrebsen und anderen Wassertieren beimengen.

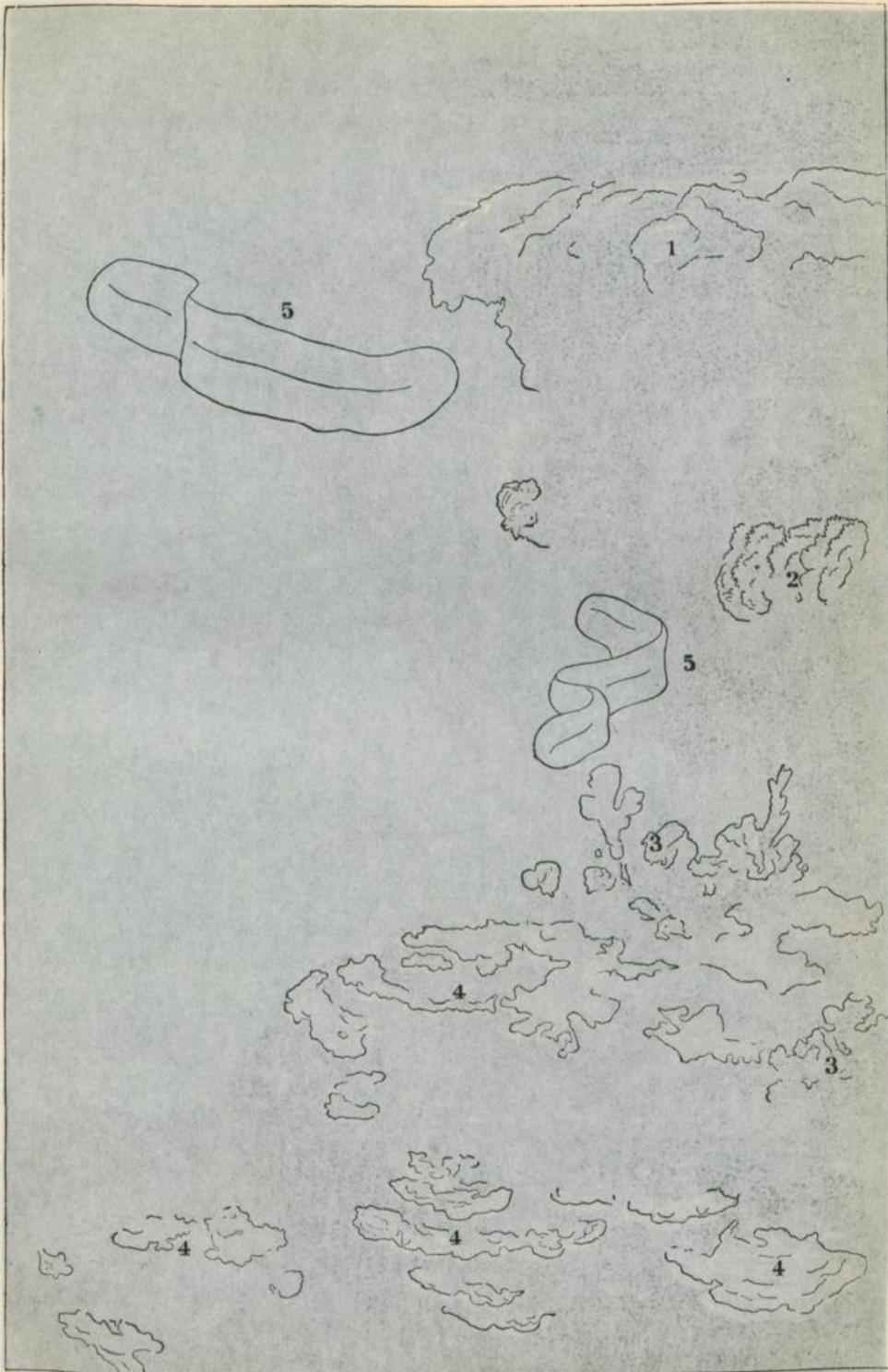
Es unterliegt demnach keinem Zweifel, daß auf diese Weise mächtige Schichten von Süßwasserkalk entstehen können. Daß auch in verfloßenen Zeiten die Bildung von Süßwasserkalk in der eben geschilderten Weise erfolgte, geht aus dem Umstande hervor, daß in dem aus der Diluvialperiode herstammenden Kalk nicht selten Nüßchen von Laichkräutern eingeschlossen gefunden wurden, und daß auf dem Karst in Istrien im Bereiche der eozänen Cosinasschichten ein dunkelfarbiger Süßwasserkalk vorkommt, der die Mächtigkeit von ungefähr 10 m erreicht und unzählige Früchte von Armleuchtergewächsen (Charazeen) enthält.

Im Meere sind Kalkabsätze, die durch Ablösen, Versinken und Aufschichten der auf der Oberhaut lebender Wasserpflanzen gebildeten Niederschläge entstehen, seltener. Dort spielen dagegen die früher besprochenen Lithothamnien und Korallinen eine hervorragende Rolle und bilden ganz so wie echte Korallen, ja häufig auch im Vereine mit diesen und mit anderen Seetieren Kalkriffe von großer Mächtigkeit. Auch der Aufbau dieser marinen Kalkriffe und Kalkbänke ist, wie man hervorheben muß, durch Meerespflanzen vor Jahrtausenden in derselben Weise erfolgt wie heutzutage. In dem niederen Höhenzuge, der östlich von Wien an der Grenze von Osterreich und Ungarn verläuft, sind dem Schiefergesteine Bänke eines Kalksteines aufgesetzt, den man Nulliporenkalk genannt hat, und der seiner Hauptmasse nach von Lithothamnium-, Lithophyllum- und Corallina-Arten gebildet wird. Diesen umfangreichen Bänken werden seit Jahrhunderten die Bausteine zu den Monumentalbauten Wiens entnommen, so daß es durchaus nicht ungereimt ist, zu sagen, es seien diese Gebäude in letzter Linie das Ergebnis der Tätigkeit der genannten Meerespflanzen.

Und wenn wir überlegen, zu welcher mächtigen Gebirgen solche marine Kalkablagerungen durch die erdgestaltenden Kräfte emporgehoben wurden, zu Höhen, die uns in Erstaunen setzen, wie das Wetterstein-, Karwendel- und Kaisergebirge, wie verschwindet dann die Spanne Zeit, die wir Weltgeschichte nennen, gegenüber den Zeiten, durch welche die Organismen an solchen Gebirgen gebaut haben.

Haben wir hier die kalkabscheidende Fähigkeit von Pflanzen betrachtet, so gibt es unter den allergeringsten Organismen, den blaugrünen Algen (Zyanophyteen), einige, welche Kieselsäure aus dem Wasser heißer Quellen, in denen sie leben, abscheiden. Diese mikroskopischen Algen, besonders *Phormidium laminosum*, haben wahre Kunstwerke geschaffen, wie die terrassenförmigen Sinterbecken in dem Geisergebiet des Yellowstoneparkes, wo sie Schale auf Schale aneinander bauten, in denen ein herrlich blaues Wasser glänzt.

[Zur Tafel: »Nulliporenbänke im Adriatischen Meere«.]



1. *Lithophyllum cristatum*. — 2. *Corallina officinalis*. — 3. *Peyssonnelia rubra*. —
4. *Lithophyllum decussatum*. — 5. *Cestum Veneris* (Qualle).

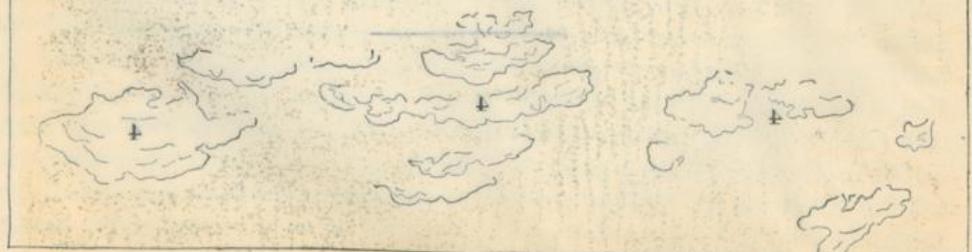
die Ablagerung die Tiefe von 2 cm, und in 5000 Jahren hat sie die Mächtigkeit eines Meters erreicht. In der That ist die jährlich abgesetzte Kalkmasse gewiß noch größer, weil sich den Kalkablagerungen auch noch die Schalen von Wassersechsen, Muscheltrefsen und anderen Meeresorganismen beigemengen.

Demnach keinem Zweifel, daß auf diese Weise mächtige Schichten von Kalkstein entstehen können. Daß auch in verfloßenen Zeiten die Bildung von Süßwasserseen der oben geschilderten Weise erfolgte, geht aus dem Umstande hervor, daß in der Tertiärperiode herkommenden Kalk nicht selten Mäßen von Süßwasserorganismen gefunden wurden, und daß auf dem Karst in Istrien im Bereiche der eoänen Schichten ein dunkelfarbiger Süßwassersee vorkommt, der die Mächtigkeit von ungefähr 1000 m erreicht und unzählige Früchte von Süßwasserpflanzen (Characeen) enthält.

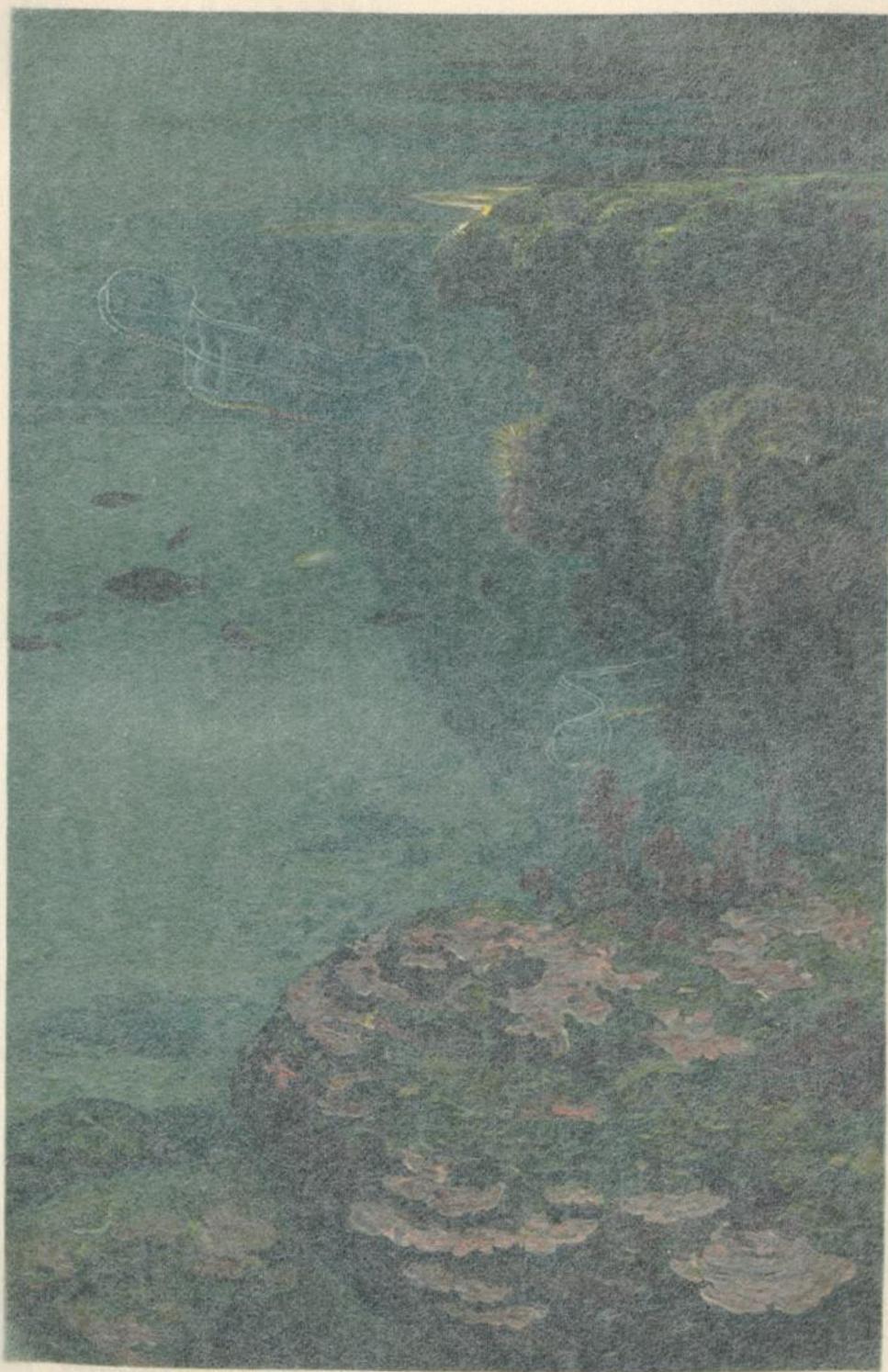
Im Meere sind Kalkablagerungen, die nach Ablösen, Versinken und Aufschwimmen der auf der Oberhaut lebender Wasserpflanzen gebildeten Kalkschichten entstehen, seltener. Dort spielen dagegen die früher besprochenen Phytoplanktonen eine hervorragende Rolle und bilden, wie wir oben gesehen haben, auch im Vereine mit diesen und mit anderen Meeresthieren Kalkablagerungen großer Mächtigkeit. Auch der Spühsand weist marine Kalktrüffel und Kalksteine, wie wir oben gesehen haben, auch durch Meeresschichten vor Jahrtausenden entstanden sind. In dem niederen Höhenzuge, der östlich von Wien durch die Gegend von Oberösterreich und Ungarn verläuft, sind dem Schiefergesteine Bänke eines Kalksteins aufgesetzt, den man Nulliporenkalk genannt hat, und der seiner Hauptmasse nach von Lithothamnium, Lithophyllum- und Corallina-Arten gebildet wird. Diesen umfangreichen Bänken werden seit Jahrhunderten die Bausteine zu den Monumentalbauten Wiens entnommen, so daß es durchaus nicht ungereimt ist, zu sagen, es seien diese Gebäude in letzter Linie das Ergebnis der Tätigkeit der genannten Meeresthieren.

Und wenn wir überlegen, daß auch mächtigen Gebirgen solche marine Kalkablagerungen durch die Erosion abgetragen werden, zu Boden, die uns in Erstaunen setzen können, so werden wir uns wundern und fragen, wie verschwindet dann die enorme Menge Kalk, die abgetragen wird, gegenüber den Zeiten, durch welche die Gesteine abgetragen werden?

Wenn wir über die Kalkablagerungen von Pflanzen betrachtet, so gibt es unter den allerkleinsten Organismen, den blauen Grünalgen (Zyanophyceen), einige, welche Kieselsäure aus dem Wasser, heißer Quellen, in denen sie leben, abscheiden. Diese mikroskopischen Algen, besonders Phaeocystis laminosum, haben wahre Kunstwerke geschaffen, die die terrassenförmigen Stufenbetten in dem Geysergebiete des Yellowstoneparkes, wo sie in Schichten auf Schale aneinander bauten, in denen ein herrlich blaues Wasser glänzt.



1. Lithophyllum cristatum. — 2. Corallina officinalis. — 3. Porphyrionella rubra. — 4. Lithophyllum decussatum. — 5. Cestum Fucris (Quells).



Nulliporenbänke im Adriatischen Meere.
Nach Aquarell von E. v. Ranfonnet.

die Ablagerung die Dicke von 2 cm, und in 5000 Jahren hat sie die Mächtigkeit eines Meters erreicht. In Wirklichkeit ist übrigens die jährlich abgesetzte Kalkmasse gewiß noch größer, weil sich den Kalkschuppen noch noch die Schalen von Wassersechsen, Muscheltrefsen und anderen Tieren beigemengen.

Es zweifelt kaum, daß auf diese Weise mächtige Schichten von Kalk entstehen können. Daß auch in vorhistorischen Zeiten die Bildung von Süßwasserkalk in der oben beschriebenen Weise erfolgte, geht aus dem Umstande hervor, daß in der Tertiärperiode herkommenden Kalk nicht selten Röhren von Seeschwämmen gefunden wurden, und daß auf dem Karst in Istrien im Bereiche der Karstebenen ein dunkelfarbiger Süßwasserkalk vorkommt, der die Mächtigkeit von ungefähr 10 m erreicht und unzählige Röhren von Armleuchtergewächsen (Charazoen) enthält.

Im Meere sind Kalkablagerungen, die durch Auflösen, Versinken und Aufschichten der auf der Oberhaut lebender Wasserpflanzen gebildeten Niederschläge entstehen, seltener. Dort spielen dagegen die früher besprochenen Lithothamnien und Korallen eine hervorragende Rolle und bilden ganz so wie echte Korallen, ja häufig auch im Vereine mit diesen und mit anderen Seetieren Kalkriffe von großer Mächtigkeit. Auch der Aufbau dieser marinen Kalkriffe und die Bildung desselben, wie man hervorheben muß, durch Meerespflanzen vor Jahrtausenden erfolgt wie heutzutage. In dem niederen Höhenguge, der östlich von Wien durch Österreich und Ungarn verläuft, sind dem Schiefergesteine Bänke eines Kalksteins aufgesetzt, den man Nulliporenkalk genannt hat, und der seiner Hauptmasse nach von Lithothamnium, Lithophyllum und Corallina-Arten gebildet wird. Diesen umfangreichen Bänken werden im Jahrhundert die Bausteine zu den Monumentalbauten Wiens entnommen, so daß es durchaus nicht ungereimt ist, zu sagen, es seien diese Gebäude in letzter Linie das Ergebnis der Tätigkeit der genannten Meerespflanzen.

Und wenn wir überlegen, zu welcher mächtigen Gebirgen solche marine Kalkablagerungen durch die erdgeschichtlichen Kräfte emporgehoben wurden, zu Höhen, die uns in Erstaunen setzen, wie die Pyrenäen, Karwendel- und Kaisergebirge, wie verschwindet dann die Spanne der Zeit, die wir als Weltgeschichte nennen, gegenüber den Zeiten, durch welche die Organismen in solchen Gebirgen gebaut haben.

Sobald wir über die kalkablagernde Tätigkeit von Pflanzen betrachtet, so gibt es unter den allerfeinsten Organismen, welche aus dem Meer (Rhanophyten), einige, welche Kieselsäure aus dem Wasser heißer Quellen, in denen sie leben, abscheiden. Diese mikroskopischen Algen, besonders Phaeodanum laminosum, haben wahre Kunstwerke geschaffen, wie die terrassenförmigen Sinterbetten in dem Gebiete des Yellowstoneparkes, wo sie Schale auf Schale aneinander bauten, in denen ein herrlich blaues Wasser glänzt.



1. Lithophyllum cristatum — 2. Corallina officinalis — 3. Lithothamnium rubrum — 4. Lithophyllum decussatum — 5. Cerium Fucoides (Gmelin)



Nulliporenbänke im Adriatischen Meere.
Nach Aquarell von E. v. Ranfonnet.

III. Die Stärkesynthese aus der aufgenommenen anorganischen Nahrung.

1. Das Chlorophyll und seine Tätigkeit.

Ebenso wenig, wie ein Mensch schon durch Aufnahme der Nahrung in seinen Magen ernährt wird, ist das Wesen der Pflanzenernährung damit getroffen, daß die Pflanzen Kohlenäure, Wasser und Salze als Rohstoffe aufnehmen. Aus diesen Rohstoffen können nicht ohne weiteres Protoplasma und Zellwände entstehen, sondern dieses Material muß erst zu assimilierbaren Stoffen verarbeitet werden. Darin besteht die eigentliche Arbeit und Aufgabe der Pflanze, und das Resultat ist die Erzeugung von Stärke in den Chlorophyllkörpern. Die Stärkesynthese findet nur in den grünen Organen der Pflanze statt.

Weder das Altertum noch das Mittelalter hatten von dieser schwerwiegenden Tatsache die geringste Ahnung. Ein holländischer Arzt und Physiker, Jan Ingenhousz, einer der ersten, der mit Pflanzen Experimente anstellte, wurde in den Jahren 1779—1791 auf die merkwürdige Sauerstoffausscheidung grüner Organe aufmerksam und kam der richtigen Erkenntnis der Ernährung mit Kohlenäure schon sehr nahe. Damals war man allgemein der Ansicht, daß die Pflanzen alle Nahrung mit ihren Wurzeln aus dem Boden bezögen. Ingenhousz erkannte, daß das nur Schein sei. Durch die Abscheidung von Kohle bei der Verbrennung von Pflanzen auf ihren reichen Kohlenstoffgehalt aufmerksam geworden, erkannte er den Kohlenstoff als den Hauptnährstoff und stellte an seinen Versuchspflanzen fest, daß dieser in unsichtbarer Form, nämlich in der Kohlenäure der Luft, aufgenommen und von der Pflanze assimiliert werde, indem sie der Kohlenäure den Kohlenstoff entziehe und deren Sauerstoff wieder in die Luft ausscheide. Er fand schon heraus, daß diese Zersetzung der Kohlenäure nur in grünen Organen stattfindet, ohne freilich, weil das ohne Mikroskop unmöglich ist, den wahren Grund dieser letzten Tatsache aufdecken zu können. Erst in der Mitte des vorigen Jahrhunderts wurde entdeckt, daß alle grünen Organe kleine grüngefärbte Plasmakörperchen, die Chlorophyllkörper, enthalten, und daß in diesen Chlorophyllkörpern die Synthese der Stärke stattfindet. Zuerst ausgesprochen wurde dieser Gedanke von dem 1897 gestorbenen Botaniker Julius Sachs, und seine Experimente haben den Gedanken in eine Tatsache umgewandelt. Welch erstaunliche Tatsache, daß die erste aus Kohlenäuregas und Wasser hergestellte Nährsubstanz, die Pflanzen und Tieren zum Aufbau ihres Körpers dient, ausschließlich in jenen winzig kleinen grünen Körperchen entsteht, die wir erst unter dem Mikroskop in den Blattzellen erkennen. Die Chlorophyllkörper sind die

Laboratorien, in welchen sich jene merkwürdigen Vorgänge abspielen, auf denen die Ernährung der Pflanzen und in letzter Linie der Bestand aller Lebewesen beruht.

In Anbetracht ihrer merkwürdigen Leistungen erscheinen die Chlorophyllkörper ziemlich einfach gebaut. Möglich, daß spätere Untersuchungen mit Instrumenten und Beobachtungsmethoden, die vollkommener sind als die heute zur Verfügung stehenden, genauere Aufschlüsse über ihren feineren Bau und besonders über ihre Verschiedenheit vom Protoplasma, dem sie eingelagert sind, liefern werden; vorläufig ist nur soviel bekannt, daß die Grundmasse der Chlorophyllkörper in ihrem Aufbau und ihrer Zusammensetzung von dem einhüllenden Protoplasma wenig abweicht. Wie jeder abgegrenzte Protoplasma-körper, zeigt auch der Chlorophyllkörper eine hautartige dichtere Außenschicht, während das Innere aus einer porösen Masse von netzartig oder gerüstartig verbundenen Strängen gebildet wird. Die Lücken und Maschen dieser farblosen Grundmasse bergen einen grünen Farbstoff, der mit einer fettartigen Substanz verbunden ist und die unendlich kleinen Räume ausfüllt. Dieses Gemenge, als der grüne Farbstoff der Chlorophyllkörper (Blattgrün) bezeichnet, ist in Alkohol, Äther und Chloroform leicht löslich. Wenn man grüne Blätter in eine alkoholische Flüssigkeit legt, so werden sie in kurzer Zeit gebleicht, und der Farbstoff geht ganz in die Flüssigkeit über. Diese nimmt die schöne grüne Farbe an, welche die Blätter früher besaßen hatten, und man sieht nun die früher grünen Blätter entfärbt im grün gewordenen Alkohol schwimmen. Im durchfallenden Licht ist die Lösung, wie gesagt, smaragdgrün; betrachtet man sie dagegen im auffallenden Sonnenlichte, so erscheint sie blutrot, und es zeigt der Farbstoff demnach eine ausgezeichnete Fluoreszenz. Wenn man dem grün gefärbten Alkohol Petroläther zusetzt und nun die Flüssigkeit schüttelt, so geht die grüne Farbe in dieses Zusatzmittel über, während im Alkohol ein gelber Farbstoff, den man Carotin nennt, zurückbleibt.

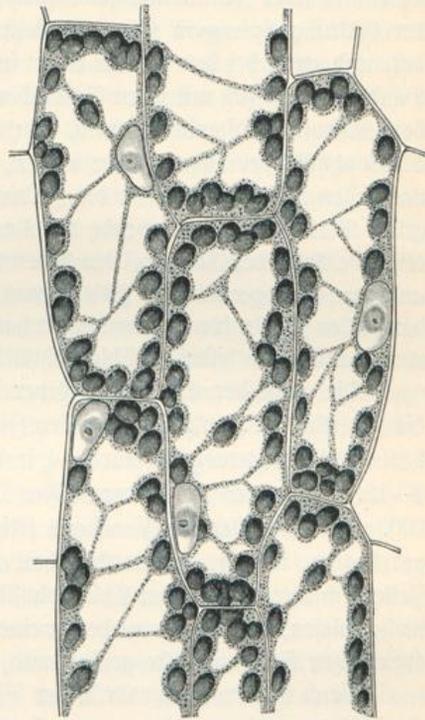
Über die chemische Zusammensetzung des Chlorophylls herrscht noch nicht die wünschenswerte Klarheit, da die mehrfachen Versuche seiner Reindarstellung aus den Blättern mit großen Schwierigkeiten verknüpft sind und es schon durch ein so einfaches Lösungsmittel wie Alkohol verändert wird. Das Alkoholprodukt wird Chlorophyllid genannt und kristallisiert, während der eigentliche Farbstoff, wie er in der Pflanze vorkommt, nicht zu kristallisieren scheint. Die Chemiker haben festgestellt, daß der Chlorophyllfarbstoff zum größten Teil aus einem kohlenstoffreichen Alkohol, Phytol genannt, besteht, und daß das Farbstoffmolekül auch Magnesium enthält. Eisen, welches zur Bildung des Chlorophyllfarbstoffes, wie das Experiment ergibt, notwendig ist, nimmt aber an seinem Aufbau nicht teil. Trotzdem sind gewisse chemische Beziehungen zum Blutfarbstoff vorhanden, wenn es auch nicht nachgewiesen ist, daß der Blutfarbstoff aus dem Chlorophyll entsteht. Die chemischen Untersuchungen haben für die Physiologie noch keine Aufklärung gebracht, denn der durch Trennungsmethoden erhaltene Farbstoff vermag keine Kohlensäure zu zerlegen. Noch mag hier bemerkt werden, daß infolge der Behandlung des Chlorophylls mit Salzsäure und anderen Reagenzien Zerlegungsprodukte des Farbstoffes entstehen, deren Untersuchung vielleicht darüber Aufschluß geben wird, in welche Gruppen organischer Verbindungen der Chlorophyllfarbstoff gehört.

Es wurde für das Chlorophyll auch ein eigentümliches Absorptionsspektrum ermittelt, welches besonders in allen den Fällen von Wert ist, wo es sich darum handelt, das Vorhandensein dieses Farbstoffes in sehr geringen Mengen in irgendeinem Pflanzenteile

nachzuweisen. Es genügt in dieser Beziehung, zu erwähnen, daß aus diesem Spektrum fast das gesamte Violett und Blau und auch die ultravioletten Strahlen geschwunden sind, und daß dasselbe in der roten Hälfte eigentümlich verteilte verschieden dunkle Absorptionsstreifen zeigt. Alle diese Untersuchungen haben bis heute nur wenig Klarheit über die Rolle gebracht, welche das Chlorophyll bei jenen Vorgängen zu spielen hat, die mit der Zersetzung der aufgenommenen Kohlensäure in den Chlorophyllkörpern beginnen.

Der Masse nach bildet der Chlorophyllfarbstoff stets nur einen äußerst geringen Bruchteil der von ihm grün gefärbten Chlorophyllkörper, und wenn man ihn durch Zusatz von Alkohol auszieht, so wird dadurch nur die Farbe, nicht aber auch die Größe des betreffenden Chlorophyllkörpers geändert.

Die Chlorophyllkörper erscheinen von ihrem Entstehen bis zu ihrem Vergehen von Protoplasma rings umschlossen. Wenn das Protoplasma wandständig ist, oder mit anderen Worten, wenn die Vakuolen des Protoplasten groß und mit wässrigem Zellsaft erfüllt sind und das Plasma, das den Saft Raum sackförmig umschließt, nur eine tapetenförmige Auskleidung der Zellkammer darstellt, so sind die Chlorophyllkörper regelmäßig in die Mittelschicht des wandständigen Plasmas eingelagert, so zwar, daß sie von dem safterfüllten Raum ebenso wie von der Wand der Zellkammer durch eine Schicht farblosen Protoplasmas geschieden sind. Ähnlich verhält es sich, wenn die Chlorophyllkörper in den quer durch den Zellenraum gespannten Plasmasträngen eingebettet sind. Manchmal ragen die Chlorophyllkörper warzenförmig vor und verleihen dann den Plasmasträngen ein knotiges Ansehen; aber auch dann sind sie noch immer mit einer dünnen, farblosen Schicht des Protoplasmas überzogen (s. die nebenstehende Abbildung). Ein Haufwerk aus Chlorophyllkörpern, welches regellos die Zellen erfüllt, würde ihrem Zwecke wenig entsprechen; es sollen vielmehr die kleinen grünen Organe, die wir Chlorophyllkörper nennen, so geordnet sein, daß keins dem anderen das Licht wegnimmt, und das ist, zumal in einem aus zahlreichen Zellkammern zusammengesetzten Pflanzengebäude, am ehesten möglich, wenn die Chlorophyllkörper die Gestalt von Körnern haben, die wie Steine eines Mosaiks nebeneinander gruppiert sind und in dieser Anordnung den Wänden der Zellkammer anliegen. So werden alle dazselbst befindlichen Chlorophyllkörper nahezu gleich beleuchtet und durchleuchtet. Je größer der Umfang der Wandflächen ist, desto mehr Chlorophyllkörner haben an ihnen Platz, und desto ausgiebiger wird in solchen Zellen die Zersetzung der Kohlensäure sein.



Zellen von *Vallisneria spiralis* mit Chlorophyllkörnern.

Trotz der engen Verbindung mit dem Protoplasma erscheinen die Chlorophyllkörper doch zu allen Zeiten scharf abgegrenzt und zeigen auch in ihrer ganzen Entwicklung eine gewisse Unabhängigkeit von dem Protoplasten. Sie vergrößern sich, teilen und vermehren sich und ändern im Laufe ihres Lebens mitunter auch ihre Gestalt. Was diese letztere anbelangt, so herrscht in den grünen Geweben der Samenpflanzen nur eine geringe Verschiedenheit. Fast immer erscheinen dort die Chlorophyllkörper als rundliche oder etwas eckige, teilweise auch linsenförmige Körner. Eine weit größere Mannigfaltigkeit beobachtet man bei manchen Algen. In den Zellen der grünen Fäden von *Zygnema*, welche in Fig. 12 der Tafel bei S. 22 dargestellt sind, erscheinen die Chlorophyllkörper sternförmig, und zwar so, daß in jeder Zellkammer gewöhnlich zwei Sterne nebeneinander liegen. Bei den Arten der Gattung *Spirogyra* (Fig. 11) stellen sie schraubig gewundene, etwas knotige Bänder dar, und zwar bei den meisten Arten in jeder Zelle ein Band, bei einigen aber auch zwei Bänder, welche sich mit ihren Schraubenzügen kreuzen, wodurch sehr zierliche Bilder unter dem Mikroskop zustande kommen. In den einzelligen *Penium*-Arten (Fig. 10) bilden die Chlorophyllkörper Platten oder Leisten, welche, von der Längsachse der Zelle ausgehend, nach allen Richtungen gegen die Zellwand vorspringen. Bei *Mesocarpus* ist eine einzige grüne Platte vorhanden, welche den Raum der Zellkammer in zwei nahezu gleiche Hälften teilt; die Arten der Gattung *Ulva* haben plattenförmige Chlorophyllkörper, welche der Wand anliegen; *Oedogonium* hat gitterförmig durchbrochene Platten; an *Podosira* sieht man in den Zellen scheibenförmige, mannigfach ausgebuchtete Chlorophyllkörper, und bei dem Lebermoos *Anthoceros* bildet der Chlorophyllkörper eine Hohlkugel, welche den Zellkern umschließt.

Die Zahl der Chlorophyllkörper im Protoplasma einer Zelle wechselt von einem bis zu mehreren Hunderten. In den Zellen der zu den Bärlappen gehörigen Selaginellen beobachtet man gewöhnlich nur 2—4, in denen des Leuchtkmooses (*Schistostega osmundacea*) 4—12. Die grünen Zellen der meisten Laubblätter umschließen 20—100, manche selbst bis 200. In den Zellen der *Vaucheria* (Fig. 1—4) ist das Protoplasma so reichlich mit dicht gedrängten, kleinen, grünen Körnchen erfüllt, daß man meinen könnte, es sei der ganze Zellenleib nur ein einziger Chlorophyllkörper. Es ist durch sehr genaue Untersuchungen nachgewiesen, daß die Menge der in einer Zelle durch Zersetzung der Kohlensäure gebildeten organischen Substanz desto größer wird, je größer die Zahl der Chlorophyllkörper ist.

Wenn man von dem Grün der Pflanzen spricht, so denkt man dabei zunächst an die Laubblätter, an denen die genannte Farbe besonders auffallend hervortritt. Auch der Name Chlorophyll, den man mit Blattgrün übersetzt, könnte zu der Ansicht führen, daß die mit Chlorophyll ausgestatteten Zellen und Gewebe nur in den Blättern zu finden sind, was dem wirklichen Sachverhalt aber durchaus nicht entspricht. Die Sporenpflanzen, welche unter dem Namen Algen zusammengefaßt werden, haben überhaupt keine Blätter, und dennoch rührt ihre grüne Farbe von „Blattgrün“ her, welches, wie gesagt, besonders geformten Körpern in den Zellkammern eingelagert ist (s. Tafel bei S. 22, Fig. 1, 9, 10, 11, 12). Übrigens ist auch bei den Pflanzen, welche in Stengel und Blätter gegliedert sind, das Chlorophyll nicht auf die Laubblätter beschränkt. Man findet chlorophyllhaltige Gewebe in allen Gliedern dieser Pflanzen: in Stengeln, den Blumenblättern, den Früchten und den Samen.

An den meisten tropischen Orchideen erscheinen die Luftwurzeln in trockenem Zustande weiß und scheinbar ganz chlorophyllfrei, im feuchten Zustande aber tritt ihre grüne Farbe hervor, weil dann, wenn die äußerste poröse Hülle sich mit Wasser füllt und die

Zellen derselben durchsichtig werden, das Grün der unter ihnen liegenden Gewebeschicht durchschimmert. Es gibt sogar Orchideen, wie z. B. *Taeniophyllum Zollingeri*, *Angraecum globulosum*, *funale* und *Sallei*, die im nicht blühenden Zustande gar kein anderes grünes Gewebe als jenes in den Luftwurzeln haben, und bei denen nicht nur die Aufnahme der Nährstoffe, sondern auch die Verarbeitung der aufgenommenen Nahrung, zumal die Zersetzung der Kohlensäure und die Bildung organischer Substanz, durch Vermittelung des grünen Gewebes in den Luftwurzeln stattfindet. Dieser Fall ist freilich eine seltene Ausnahme. Weit häufiger als in Wurzeln trifft man grünes Gewebe in Stengelbildungen. Hunderte von Binsen, Simsen, Hypergräsern und Schachtelhalmen sowie die unter den Nutengewächsen aufgeführten Arten von *Casuarina* und *Ephedra*, viele Schmetterlingsblütler aus den Gattungen *Retama*, *Genista* und *Spartium*, eine Menge von Salicornien, tropischen Orchideen und Kakteen, die Wasserlinsen (*Lemna*) und alle mit Flachsprossen ausgestatteten Gewächse (s. Abbildung, S. 249) enthalten das grüne Gewebe ausschließlich in der Rinde ihrer Stengel und Zweige. Auch die Fruchtknoten und die Früchte, die noch nicht ihre volle Reife erlangt haben, sind so regelmäßig grün gefärbt, daß der Volksmund grüne Früchte und unreife Früchte als gleichbedeutend nimmt. Die Samen, deren Keimling in Achse und Blatt gegliedert ist, zeigen nur selten, so namentlich bei *Pistacia*, *Pernetia*, *Viscum* und bei den Nadelhölzern, grünes Gewebe in den Keimblättern. Eigentümlich verhalten sich die Samen der Orchideen, namentlich derjenigen, welche auf der Borke von Bäumen leben. Sie sind außerordentlich klein, bestehen nur aus einer Gruppe parenchymatischer Zellen, und von der Anlage eines Würzelchens oder eines Keimblattes ist keine Spur zu sehen. Sie erhalten nur sehr kurze Zeit ihre Keimfähigkeit. Für diese Samen, die mit Reservennahrung schlecht versorgt sind, ist es wichtig, daß sie sich sofort nach dem Verlassen der Kapsel Frucht selbständig mit Nahrung aus der Umgebung versorgen und aus dieser Nahrung organische Substanz bilden. Das können sie natürlich nur mit Hilfe von Chlorophyll, und es ist sehr interessant, zu sehen, daß sie auch wirklich mit Chlorophyll ausgerüstet sind. Noch zur Zeit, wo sie sich in der Kapsel der Mutterpflanze befinden, ergrünen diese Samen, und wenn sie dann durch Luftströmungen in irgendeine Ritze an der Rinde eines alten Baumstammes verschlagen werden, vermag das Chlorophyll sogleich zu funktionieren. Nach kurzer Zeit wird aus dem grünen Samen ein kleines grünes Knöllchen, welches sich mit Saugzellen an die Unterlage heftet und ganz allmählich zu einem größeren Pflanzenstoc auswächst.

Große Blumen, deren Blätter vom Anfang bis zum Ende der Blütezeit eine grüne Färbung zeigen, wie z. B. jene von *Jacquinia*, gelten als Seltenheit. Dagegen sind kleine, chlorophyllreiche Blumenblätter eine sehr gewöhnliche Erscheinung. Auch der Wechsel der Blütenfarbe aus Weiß, Rot, Violett und Braun in Grün im Verlauf der Blütezeit ist mehrfach beobachtet worden, und zwar sowohl an kleinen wie an recht ansehnlichen Blüten. Ein sehr auffallendes Beispiel dieser Art ist die schwarze Nieswurz (*Helleborus niger*). Wenn sich ihre Blumen öffnen, sind deren äußere große Blätter, die unterhalb der zu kleinen Honigbehältern umgewandelten Kronenblätter stehen, schneeweiß und heben sich von der dunkleren Umgebung deutlich ab. Sie fallen den honigsammelnden Insekten auch von fern in die Augen und werden von diesen gern aufgesucht. Ist durch Vermittelung der honigsaugenden Insekten die Befruchtung eingeleitet, so sind sowohl die kleinen Honigbehälter als auch die großen, blendend weißen äußeren Blumenblätter überflüssig. Die

Honigbehälter fallen alsbald ab, die großen Blumenblätter aber bleiben und übernehmen eine andere Funktion. In ihren Zellen entwickelt sich reichlich Chlorophyll, die weiße Farbe schwindet, frisches Grün tritt an die Stelle, und dieselben Blumenblätter, welche früher mit ihrer weithin sichtbaren Farbe die Insekten angelockt hatten, funktionieren jetzt als grüne Blätter ganz ähnlich wie Laubblätter. Eine ähnliche Farbenänderung, und zwar mit derselben Bedeutung, beobachtet man an mehreren Orchideen und Liliengewächsen; im ganzen genommen, kommt aber ein solcher Funktionswechsel im Bereiche der Blumenblätter nicht häufig vor. Diese flüchtigen Andeutungen mögen zeigen, daß Chlorophyll in allen Gliedern der Pflanzen auftreten kann, wozu aber gesagt werden muß, daß alle solche schwach grüngefärbten Organe, welche keine Laubblätter sind, nicht die Aufgabe haben, bei der Kohlenensäurezerlegung mitzuhelfen, und in der Tat auch gegenüber den eigentlichen Chlorophyllträgern, den Laubblättern, nichts Nennenswertes leisten.

Eine kleine Anzahl von Pflanzen täuscht uns über ihren Chlorophyllgehalt. Die roten Varietäten der Buche und der Hasel (Blutbuche und Bluthasel) sehen aus, als ob sie kein Chlorophyll enthielten, da ihre Blätter rot sind. Das ist jedoch nur eine optische Täuschung, die dadurch veranlaßt wird, daß die Oberhautzellen der Blätter mit einem roten Zellsaft erfüllt sind, dessen Farbe das darunterliegende grüne Blattgewebe verdeckt. Auch die roten und braunen Meeresalgen enthalten Chlorophyll, dessen Grün durch beigemengte rote und braune Farbstoffe verdeckt ist.

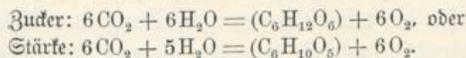
Wenn wir uns im vorstehenden mit den Formverhältnissen, der chemischen Natur und dem Vorkommen des Chlorophylls bekannt gemacht haben, so interessiert uns nun vor allem die Tätigkeit dieser merkwürdigen Substanz sowie die Frage, ob wir einen Einblick in die Arbeit der Stärkesynthese gewinnen können. Daß die Chlorophyllkörper Stärke enthalten, können wir leicht mit Hilfe des Mikroskopes mit unseren Augen sehen. In den meisten Chlorophyllkörnern erblickt man die Stärke in Form kleiner, stark aufglänzender farbloser Körnchen. Es läßt sich auch durch die bekannte Blaufärbung mit Jod beweisen, daß diese Körnchen Stärke sind. Man braucht nur feine Blattdurchschnitte oder, noch bequemer, Moosblätter oder Farnprothallien mit Alkohol zu entfärben, diese einige Minuten in zweiprozentige Kalilauge zu legen und nach dem Auswaschen mit Wasser einen Tropfen Jod-Jodkaliumlösung zuzufügen. Dann färben sich die kleinen Körnchen in jedem Chlorophyllkorn blau.

So sicher wir nun auch durch unsere experimentellen Untersuchungen darüber sind, daß diese Stärke vom Chlorophyll erzeugt wurde, so wenig gelingt es uns, das Chlorophyll bei seiner Tätigkeit durch die mikroskopische Beobachtung zu belauschen. Sicher wissen wir, daß die Chlorophyllkörper nur im Tageslicht ihre synthetische Arbeit ausführen. Aber wenn man chlorophyllhaltige Zellen, die noch keine Stärke enthalten, dem Licht aussetzt, so treten die Stärkekörner scheinbar so plötzlich und schnell hervor, daß an eine Verfolgung des Bildungsprozesses nicht zu denken ist, abgesehen davon, daß dies schon durch die Kleinheit der Körnchen unmöglich gemacht wird. Wenn man die Stärkekörnchen im Chlorophyll wahrnimmt, was schon nach 5—15 Minuten der Fall sein kann, ist der Bildungsprozeß schon längst im vollen Gange, denn es ist mehr als wahrscheinlich, daß die Stärke nicht unmittelbar aus Kohlenensäure und Wasser im Chlorophyll entsteht, sondern daß vorher Zuckerarten (Hexosen) entstehen, und wahrscheinlich geht der Bildung dieser, die Synthese noch einfacherer Verbindungen, vielleicht von Formaldehyd und seinen Kondensationen, voran. Wir können uns um so schwerer eine Vorstellung von diesen Vorgängen machen, als es der Chemie

noch nicht gelungen ist, Stärke künstlich aus einfachen Verbindungen herzustellen, und auch ihre Zuckersynthesen kein Licht auf die Vorgänge im Chlorophyll werfen.

Man darf sich nicht durch die Praxis der Chemie täuschen lassen. Wenn man in einer Fabrik Zucker erzeugt, so werden dazu nicht Kohlenstoff und die Elemente des Wassers, welche doch so reichlich zur Verfügung ständen, verwendet, sondern man isoliert dort nur den Zucker, der in den kleinen chemischen Laboratorien, den Pflanzenzellen, durch Synthese aus den eben genannten Stoffen schon fertiggestellt wurde. Es ist eigentlich auch unrichtig, zu sagen, daß in unseren Fabriken Zucker gemacht oder erzeugt wird, und man sollte lieber sagen, daß man dort den von Pflanzen erzeugten Zucker nur von anderen Stoffen trennt und für den weiteren Gebrauch zurechtet.

Wenn es nicht möglich ist, sich die Vorgänge bei der Synthese organischer Stoffe in den Pflanzenzellen in einer über allen Zweifel erhabenen Weise vorzustellen, so ist es um so mehr gerechtfertigt, zu Hypothesen seine Zuflucht zu nehmen. Und für die Hypothese, daß Kohlenäure und Wasser endlich zu Stärke zusammentreten, gibt uns die Beobachtung eine wertvolle, feste Stütze. Nach theoretisch chemischen Grundsätzen kann man sagen, daß bei der Entstehung von Stärke aus Kohlenäure und Wasser Sauerstoff frei werden muß. Das ergibt sich auch schon aus der Erfahrung, daß bei der Zerlegung von Stärke in Wasser und Kohlenäure, die durch Verbrennung sehr leicht geschehen kann, Sauerstoff wieder zugeführt werden muß. Die Abgabe des Sauerstoffs bei der Tätigkeit des Chlorophylls können wir sichtbar machen. Wenn ein Wald bei seiner Stärkesynthese auch immerfort Massen von Sauerstoff aushaucht, so sehen wir davon freilich nichts, denn das farblose Gas mischt sich mit der Luft. Wenn wir aber Blätter unter Wasser Kohlenäure zersetzen lassen, dann muß sich der Sauerstoff durch das Wasser hindurchbewegen und wird als Blasenstrom sichtbar. Wird der Sauerstoff nach geeigneten Methoden aufgesammelt, so kann man einerseits z. B. durch Entflammen eines glimmenden Spanes nachweisen, daß das Gas Sauerstoff ist, andererseits aber auch feststellen, daß die Menge des Sauerstoffs genau so groß ist, wie die aufgenommene Menge Kohlenäure. Daraus können wir nun entnehmen, daß bei der Synthese Zucker oder Stärke gebildet werden muß, denn wenn andere Verbindungen entstanden, so wäre das Volumen des Sauerstoffs nicht dem der Kohlenäure gleich, sondern größer oder kleiner. So dürfen wir auf diese Beobachtung hin sogar eine chemische Formelgleichung der Synthese aufstellen, welche lautet: 6 Volumteile Kohlenäure + 5 oder 6 Moleküle Wasser = 1 Molekül Stärke oder Zucker + 6 Volumteile Sauerstoff. In der Formelsprache der Chemie geschrieben



Eine weitere Hypothese machen wir, wenn wir uns die Bewegung, in welche die Atome der Kohlenäure und des Wassers in der Pflanzenzelle durch den Sonnenstrahl versetzt werden, als Übertragung der lebendigen Kraft der Sonne denken. Die Atome haben sich durch diese Bewegung in neuer Ordnung zusammengesunden, sind zur Ruhe gekommen, und es hat sich ein Zustand gegenseitiger Spannung hergestellt. Die lebendige Kraft der Sonne ist zur Spannkraft geworden. Die durch Synthese entstandene, im Chlorophyll abgelagerte organische Verbindung ist also mit einem entsprechenden Vorrat von Spannkraft ausgerüstet, den man mit einem anderen Wort auch als gebundene Energie oder chemische Energie bezeichnet. Das ist der eigentliche Sinn der ganzen Synthese: es wird

ein Vorrat von Energie in einem Stoffe aufgespeichert, die nun bei ihrem Verbrauch im Stoffwechsel wieder frei wird und die verschiedensten Lebenserscheinungen hervorrufen kann. Wenn wir einen Baumstamm verbrennen, so wird die Energie der Sonne, die bei Bildung des Zellstoffes und der anderen organischen Stoffe des Holzes seinerzeit chemisch gebunden wurde, wieder zur lebendigen Kraft, und wenn wir Steinkohlen verbrennen, so werden die Sonnenstrahlen, welche vor Jahrtausenden die Bildung dieser organischen Pflanzensubstanz veranlaßten und in der Steinkohle gefesselt waren, wieder frei, wärmen unsere Stuben, treiben unsere Maschinen und bewegen unsere Dampfschiffe und Eisenbahnwagen. In dieser Auffassung festhaltend, vermag man sich wenigstens die mechanische Bedeutung der Sonnenstrahlen bei der Bildung der Stärke in der Pflanze vorzustellen, und man kann auch annehmen, daß die Menge der gebildeten organischen Substanz zu dem Vorrate von Spannkraft in derselben in einem bestimmten, durch Zahlen ausdrückbaren Verhältnis steht.

Ein Umstand, auf den hier noch ein besonderes Gewicht gelegt werden muß, ist, daß die Strahlen verschiedener Wellenlänge und Brechbarkeit, aus denen das Sonnenlicht zusammengesetzt ist, und die, zum Teil wenigstens, im Regenbogen unserem Auge als verschiedenfarbige Streifen erscheinen, bei der Bildung organischer Stoffe in den Pflanzenzellen eine sehr verschiedene Rolle spielen. Die roten, orangefarbenen und gelben Teile des Spektrums, also die Strahlen geringer Brechbarkeit und großer Wellenlänge, begünstigen die Reduktion der Kohlenäure, fördern die Bildung von Kohlenhydraten aus den Rohstoffen und sind daher bei dem Entstehen solcher organischen Substanzen am meisten beteiligt, während die blauen und violetten Strahlen sehr wenig leisten.

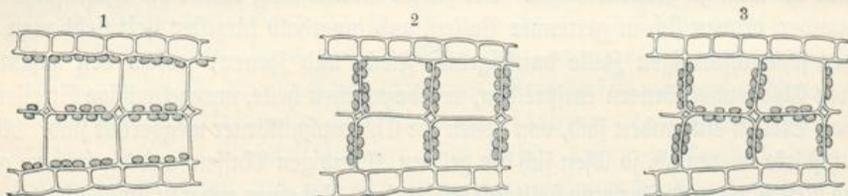
Wenn es außer Frage steht, daß nur bei Gegenwart von Chlorophyll aus der aufgenommenen Kohlenäure organische Stoffe gebildet werden können, so ist andererseits ebenso gewiß, daß bei diesen Bildungsvorgängen die Sonne mit ihren Strahlen wirkt und schafft und so als treibende Kraft im Mittelpunkt des ganzen organischen Lebens steht. Die Sonne geht auf, die Sonne geht unter, dem Tage folgt die Nacht, und im Laufe der Nacht ist der eben erwähnte Vorgang, auf welchem der Bestand der Lebewelt beruht, unterbrochen. Aber auch am Tage wechselt die Kraft der Sonne stark. Sie ist anders am Mittag, wenn die Lichtquelle näher dem Zenit steht und die Strahlen fast senkrecht auf die Erde fallen, anders am Abend, wenn das leuchtende Gestirn unter den Horizont hinabsinkt und die letzten Strahlen fast horizontal sich über die Fläche spinnen. Begreiflicherweise ist es für die mit einer gewissen Menge von Chlorophyll ausgestatteten Organe keineswegs gleichgültig, wie sie von den Sonnenstrahlen getroffen werden, und welche Menge von Energie in einem gegebenen Zeitabschnitt auf sie übertragen wird. Die verschiedenen Pflanzenarten mögen sehr verschiedene Bedürfnisse nach Sonnenlicht haben, für jede einzelne Art aber bewegt sich der Bedarf an treibender Kraft immer innerhalb gewisser Grenzen, die ohne Nachteil nicht überschritten werden dürfen. Um nun der Ungleichmäßigkeit des Lichteinflusses an hellen und trüben Tagen und in den verschiedenen Tagesstunden zu begegnen, ist die Einrichtung getroffen, daß sich die grünen Organe nach der Sonne richten, den Tagesstunden und der jeweiligen Stärke der Sonnenstrahlen entsprechend eine bestimmte Lage einnehmen und diese Lage mit Leichtigkeit wieder ändern können. Und zwar haben diese Fähigkeit, sich dem Lichtbedürfnis

entsprechend einzustellen, sowohl die grünen Chlorophyllkörper innerhalb der Zellkammern als auch die grünen Blätter sowie die Stengel und Zweige, welche die grünen Blätter tragen.

Wenn man ein deutliches Bild von der Einstellung der Chlorophyllkörper zum Sonnenlichte gewinnen will, so muß man sich vorerst gegenwärtig halten, daß diese grünen Organe, mögen sie was immer für eine Gestalt haben, in dem Protoplasma der Zellen eingebettet sind, und daß dieses Protoplasma beweglich und verschiebbar ist, oder mit anderen Worten, daß der Protoplast, der die grünen Chlorophyllkörper eingelagert enthält, sich innerhalb der von ihm bewohnten Zellkammer drehen und wenden und die Chlorophyllkörper bald hierhin, bald dorthin transportieren kann. Ja, noch mehr. Die Chlorophyllkörper können zeitweilig an bestimmten Stellen angehäuft und zusammengedrängt, dann wieder auseinandergerückt und gleichmäßig in der Zelle verteilt werden. In den schlauchförmigen Zellen der *Vaucheria clavata*, welche auf der Tafel bei S. 22 durch die Mittelfigur dargestellt sind, bildet das Protoplasma an der inneren Seite der farblosen, durchsichtigen Zellhaut einen tapetenartigen Beleg und ist so dicht mit rundlichen Chlorophyllkörpern erfüllt, daß die Zellen gleichmäßig dunkelgrün erscheinen. So ist es aber nur bei nicht zu grellem Lichte. Bei starker Beleuchtung rücken die Chlorophyllkörner auseinander, ordnen sich in getrennte Ballen, und innerhalb kürzester Zeit sieht man dann in jeder schlauchförmigen Zelle dunkelgrüne Flecke und Zonen, welche den zusammengrückten Chlorophyllkörnern entsprechen, und dazwischen helle, unregelmäßige Streifen, die an jenen Stellen entstanden sind, von denen die Chlorophyllkörner weggerückt sind. Nimmt die Lichtstärke wieder ab, so lösen sich die grünen, klumpigen Massen, und die frühere gleichmäßige Verteilung und Färbung stellt sich wieder her. Bei einer anderen im Wasser lebenden fadenförmigen, grünen Alge aus der Gattung *Mesocarpus* enthält jede der langen, zylindrischen Zellen einen platten- oder bandförmigen Chlorophyllkörper, der bei schwachem zerstreuten Lichte sich rechtwinklig gegen die einfallenden Strahlen richtet. Bei dieser Lage ist den Sonnenstrahlen die Breitseite, die größte Fläche des Chlorophyllkörpers, zugewendet, und das einfallende Licht wird durch ihn möglichst ausgenutzt. Da der plattenförmige Chlorophyllkörper gewöhnlich quer durch die ganze Zellkammer ausgespannt ist, erscheint bei der angedeuteten Lage die Zelle gleichmäßig grün gefärbt. Treffen die Sonnenstrahlen ganz unvermittelt auf solche *Mesocarpus*-Zellen, so beginnt der bandförmige Chlorophyllkörper sich zu drehen, und zwar so, daß die Ebene des Bandes mit dem Strahlengange zusammenfällt. Nun ist den Sonnenstrahlen die Schmalseite, die kleinste Fläche des Chlorophyllkörpers, zugewendet, und man sieht von ihm nur einen dunkelgrünen Streifen. Diese Drehung des Chlorophyllkörpers erfolgt ungemein rasch, und man kann sie wiederholt durch Verdunkeln und Aufhellen in den Zellen der *Mesocarpus*-Fäden hervorrufen.

Auch in Zellen, die zu Geweben miteinander verbunden sind, kommt diese Verschiebung und Umlagerung der Chlorophyllkörper nicht selten vor. Es war längst aufgefallen, daß im Vorkerne der Farne, in den laubartigen Lebermoosen, in den Blättchen mehrerer Laubmoose, ja auch in größeren zarten Laubblättern von Blütenpflanzen je nach der Stärke des einfallenden Lichtes das grüne Gewebe dem bloßen Auge bald heller, bald dunkler gefärbt erscheint, daß es unter der Einwirkung intensiven Sonnenlichtes blässer und gelblichgrün wird, in schwachem Licht aber einen dunkleren Ton annimmt. Legt man auf ein von der Sonne beschienenes Laubblatt einen schwarzen Papierstreifen in der Weise, daß nur ein Teil der Blattfläche davon bedeckt wird, und entfernt man diesen Streifen nach einiger Zeit, so

erscheint der unbedeckt gebliebene, von den Sonnenstrahlen unmittelbar getroffene Teil hellgrün, jener Teil dagegen, über dem der Papierstreifen lag, und von welchem die Sonnenstrahlen abgehalten wurden, dunkelgrün. Sorgfältige Untersuchungen haben nun ergeben, daß dieser Farbenwechsel auf Verschiebungen der Chlorophyllkörner beruht. Im zerstreuten Lichte gruppieren sich die Chlorophyllkörner an jenen Wänden der Zellen, auf deren Fläche das Licht unter rechtem Winkel einfällt, also in den zylinderförmigen Palisadenzellen eines Laubblattes, an den zur Blattoberfläche parallelen kleinen Wänden, und es ist begreiflich, daß solche Zellen sowie die aus ihnen gebildeten Gewebe, in der Richtung des einfallenden Lichtes gesehen, dunkelgrün erscheinen. Sobald direktes Sonnenlicht die Blätter trifft, werden die Chlorophyllkörner von diesen Wänden weggerückt und auf die zur Richtung des einfallenden Lichtes parallelen Wände der Zellkammer veretzt. Sind es Palisadenzellen (vgl. S. 105), so gruppieren sich die Chlorophyllkörner an den langen Seitenwänden, während die kleinen, von den Sonnenstrahlen unter rechtem Winkel getroffenen Zellwände chlorophyllfrei und farblos werden. Sind es arnförmige Zellen des Schwammparenchyms, so werden die Chlorophyllkörner, die bei zerstreutem Lichte gleichmäßig in der



Lage der Chlorophyllkörner in den Zellen der dreifappigen Wasserlinse (*Lemna trisulca*): 1 im Dunkeln, 2 im direkten Sonnenlichte, 3 im zerstreuten Lichte.

Zelle verteilt waren, in die Ausbuchtungen gruppenweise zusammengeschoben, während das Mittelfeld der Zelle sich aufhellt und chlorophyllfrei wird. Das ganze Gewebe aber, in dem sich diese Verschiebung vollzogen hat, erscheint viel blässer als früher und zeigt häufig einen entschieden gelblichgrünen Farbenton. Besonders schön sieht man diese nach der Beleuchtungsstärke wechselnde Lage der Chlorophyllkörner an der sehr einfach gebauten, nur zwei Schichten kurzer grüner Zellen enthaltenden laubartigen Wasserlinse *Lemna trisulca*, von der die obenstehende Abbildung drei senkrecht auf die Fläche des grünen Gewebes geführte Durchschnitte zeigt.

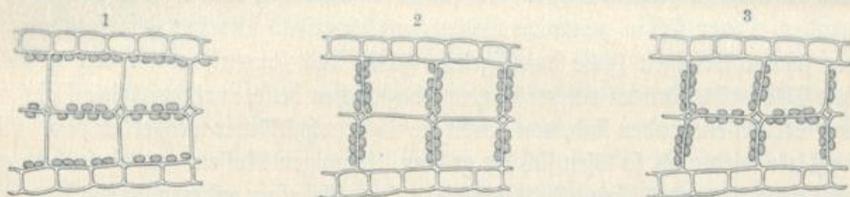
Wenn die chlorophyllhaltigen Organe für schroffen Lichtwechsel empfindlich sind und diesem auszuweichen suchen, so bedürfen sie doch für die Stärkesynthese stets eines möglichst hellen Tageslichts. An schattigen und dunklen Orten siedeln sich daher auch nur kleinere Pflanzen an, Farne, Moose, Lebermoose, die sich zu keiner erheblichen Körpergröße entfalten und mit weniger Licht auskommen. Man nennt sie gemeiniglich Schattenpflanzen. Diese haben sich geradezu an ein mäßiges Licht gewöhnt und, in plötzliche Helle veretzt, gehen sie zugrunde. Um das spärliche Licht auszunützen, sind solche Pflanzen gewöhnlich sehr chlorophyllreich.

Im Grunde des Buchenhaines erhebt der Waldmeister (*Asperula odorata*) seine in Wirteln um den Stengel gruppierten Blätter. Über ihm neigen sich die dicht belaubten Buchenäste zu einem Dache zusammen, durch dessen Lücken nur hier und da ein schwacher Sonnenstrahl den Weg in die Tiefe findet (s. die beigeheftete Tafel „Waldmeister im Buchenwalde“).



Waldmeister im Buchenwalde.
Nach Aquarell von Adele v. Kerner.

erscheint der unbedeckt gebliebene, von den Sonnenstrahlen unmittelbar getroffene Teil hellgrün, jener Teil dagegen, über dem der Papierstreifen lag, und von welchem die Sonnenstrahlen abgehalten wurden, dunkelgrün. Sorgfältige Untersuchungen haben nun ergeben, daß dieser Farbenwechsel auf Verschiebungen der Chlorophyllkörner beruht. Im zerstreuten Lichte gruppieren sich die Chlorophyllkörner an jenen Wänden der Zellen, auf deren Fläche das Licht unter rechtem Winkel einfällt, also in den zylinderförmigen Palisadenzellen eines Laubblattes, an den zur Blattoberfläche parallelen kleinen Wänden, und es ist begreiflich, daß solche Zellen sowie die aus ihnen gebildeten Gewebe, in der Richtung des einfallenden Lichtes gesehen, dunkelgrün erscheinen. Sobald direktes Sonnenlicht die Blätter trifft, werden die Chlorophyllkörner von diesen Wänden weggerückt und auf die zur Richtung des einfallenden Lichtes parallelen Wände der Zellkammer versetzt. Sind es Palisadenzellen (vgl. S. 105), so gruppieren sich die Chlorophyllkörner an den langen Seitenwänden, während die kleinen, von den Sonnenstrahlen unter rechtem Winkel getroffenen Zellwände chlorophyllfrei und farblos werden. Sind es armsförmige Zellen des Schwammparenchyms, so werden die Chlorophyllkörner, die bei zerstreutem Lichte gleichmäßig in der



Lage der Chlorophyllkörner in den Zellen der dreifappigen Wasserlinse (*Lemna trisulca*): 1 im Dunkeln, 2 im direkten Sonnenlichte, 3 im zerstreuten Lichte.

Zelle verteilt waren, in die Ausbuchtungen gruppenweise zusammengeschoben, während das Mittelfeld der Zelle sich aufhellt und chlorophyllfrei wird. Das ganze Gewebe aber, in dem sich diese Verschiebung vollzogen hat, erscheint viel blässer als früher und zeigt häufig einen entschieden gelblichgrünen Farbenton. Besonders schön sieht man diese nach der Beleuchtungsstärke wechselnde Lage der Chlorophyllkörner an der sehr einfach gebauten, nur zwei Schichten kurzer grüner Zellen enthaltenden laubartigen Wasserlinse *Lemna trisulca*, von der die obenstehende Abbildung drei senkrecht auf die Fläche des grünen Gewebes geführte Durchschnitte zeigt.

Wenn die chlorophyllhaltigen Organe für scharffen Lichtwechsel empfindlich sind und diesem auszuweichen suchen, so bedürfen sie doch für die Stärkesynthese stets eines möglichst hellen Tageslichts. An schattigen und dunklen Orten siedeln sich daher auch nur kleinere Pflanzen an, Farne, Moose, Lebermoose, die sich zu keiner erheblichen Körpergröße entfalten und mit weniger Licht auskommen. Man nennt sie gemeiniglich Schattenpflanzen. Diese haben sich geradezu an ein mäßiges Licht gewöhnt und, in plötzliche Helle versetzt, gehen sie zugrunde. Um das spärliche Licht auszunützen, sind solche Pflanzen gewöhnlich sehr chlorophyllreich.

Im Grunde des Buchenhaines erhebt der Waldmeister (*Asperula odorata*) seine in Wirteln um den Stengel gruppierten Blätter. Über ihm neigen sich die dicht belaubten Buchenäste zu einem Dache zusammen, durch dessen Lücken nur hier und da ein schwacher Sonnenstrahl den Weg in die Tiefe findet (s. die beigeheftete Tafel „Waldmeister im Buchenwalde“).



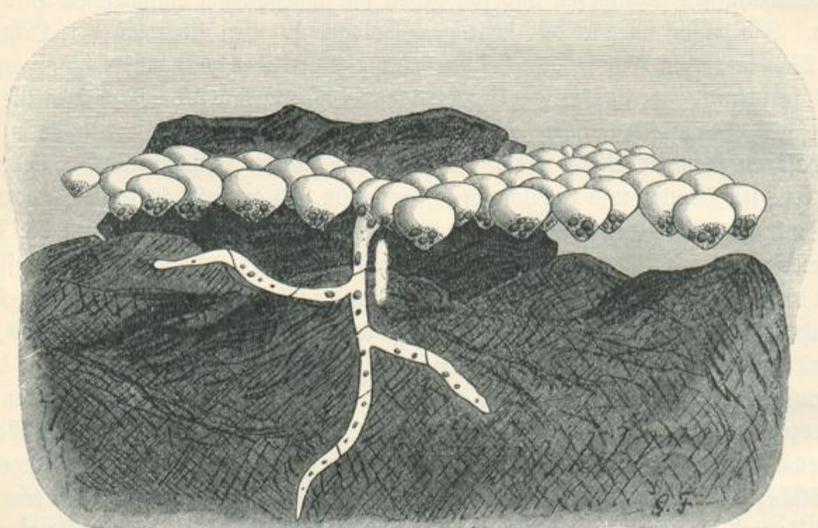
Waldmeister im Buchenwalde.
Nach Aquarell von Adele v. Kerner.

In dem dämmerigen Lichte zeigen die Blattsterne des Waldmeisters eine tief dunkelgrüne Farbe. Nun erdröhnt die Art des Holzhauers im Walde, die Buchen werden gefällt, das schattende Laubdach ist vernichtet und der Waldgrund den grellen Sonnenstrahlen ausgesetzt. Binnen wenig Wochen ist der Waldmeister nicht mehr zu kennen, er ist krank und bleich geworden, die Blattsterne haben ihr dunkles Grün eingebüßt, das Chlorophyll ist durch das grelle Licht zerstört worden. Und ähnlich wie dem Waldmeister geht es vielen Farnen. Im Düster des Waldgrundes zwischen steilwandigen Felsen und an nordseitigen, schattigen Gehängen sind sie tiefgrün gefärbt, an eine sonnige Stelle verschlagen, werden sie bleichsüchtig und bleiben dann auch auffallend im Wachstume zurück. Alle diese Pflanzen sind eben nicht darauf eingerichtet, sich für den Fall einer Änderung in der Besonnung ihres Standortes den neuen Verhältnissen anzupassen und sich gegen die ungeschwächt einfallenden Strahlen zu schützen. Sie passen nur für den schattigen Waldgrund. Ein Übermaß von Licht ist ihr Tod. Was hier vom Waldmeister beschrieben ist, zeigen aber auch andere Pflanzen. Die im südlichen Europa weitverbreitete Hirschwurze (*Scolopendrium officinale*) ist viel lebhafter grün gefärbt, wenn sie in tiefschattigen, felsigen Schluchten wächst, als wenn sie in offener Landschaft an steiniger Stelle steht, wo von allen Seiten Licht zuströmt. Lebermoose sind in feuchten Grotten und Hohlwegen schöner grün, als an beleuchteten Standorten.

Sinkt das Licht unter ein gewisses niederes Maß herab, dann beginnt die Pflanze oft in merkwürdiger Weise auch die wenigen Lichtstrahlen noch auszunützen. Am auffallendsten ist diese Erscheinung an dem Vorkeim eines in die Abteilung der Laubmoose gehörigen Pflänzchens zu sehen. Dieses winzige Moos, das der Volksmund Leuchtmoos nennt, und das von den Botanikern den Namen *Schistostega osmundacea* erhielt, hat dadurch eine gewisse Berühmtheit erlangt. Es findet sich durch die mitteleuropäischen Granit- und Schiefergebirge verbreitet, ist aber immer nur in den dämmerigen Klüften des Gesteines und niemals außerhalb der Felsenhöhlen anzutreffen. Und zwar überzieht es regelmäßig die gelbliche, lehmige Erde und die verwitterten, morschen Steinplatten, welche den Boden der Klüfte und kleinen Grotten bilden. Blickt man durch das Tor der Grotte oder durch den Spalt der Felsklüfte in das Innere der Höhlung, so zeigt sich der Hintergrund ganz dunkel, auch der Mittelgrund läßt an den Seitenwänden nur ein unbestimmtes Zwieliht wahrnehmen, am ebenen Boden der Höhlung aber glitzern und leuchten unzählige grüngoldene Lichtpunkte, so daß man meinen könnte, kleine Smaragde seien dort über die Erde verstreut (s. die Tafel „Leuchtmoos im Geklüfte der Schieferfelsen“ bei S. 102). Langt man neugierig in den Grund der Grotte, um von dem leuchtenden Gebilde eine Probe zu erhaschen, und bezieht man das Herausgeholtte auf der flachen Hand im hellen Lichte, so traut man kaum seinen Augen; denn man hat nichts anderes vor sich als kalte, glanzlose Erde und morsche, feuchte Steinplättchen von gelblichgrauer Farbe. Nur wenn man näher zusieht, bemerkt man, daß Erde und Steinchen teilweise mit mattgrünen feinen Fäden durchsetzt und übersponnen sind, und daß stellenweise auch winzige Moospflänzchen mit blasser bläulichgrüner Färbung in der Erde stecken, welche bogensförmig gekrümmten Federchen gleichen. Die Erscheinung, daß ein Gegenstand nur im dunkeln Geklüfte der Felsen leuchtet und seinen Schimmer sofort verliert, wenn er an das helle Tageslicht gezogen wird, wirkt ungemein überraschend.

Die von krümeligen Körperchen durchsetzten ungemein zarten Fäden, von denen die Erde im Grunde der Felsenhöhlen übersponnen wird, gehören dem Vorkeime der

Schistostega an, und die Moospflänzchen wachsen als zweite Generation aus diesem Vorkeime hervor. Wie das geschieht, wird an anderer Stelle geschildert werden; hier interessiert nur, daß das Leuchten nicht von den bläulichgrünen Moospflänzchen, sondern von deren Vorkeim ausgeht. Betrachtet man den Vorkeim unter dem Mikroskop, so bietet sich ein Bild, wie es Fig. 15 der Tafel bei S. 22 von oben, die untenstehende Abbildung von der Seite zeigt. Von den horizontal über den Boden sich hinspinnenden, vielfach verzweigten Fäden, die aus schlauchförmigen Zellen zusammengesetzt werden, erheben sich zahlreiche Zweige, welche Gruppen aus traubenförmig geordneten, kugelförmigen Zellen tragen. Sämtliche Zellen einer Gruppe liegen in einer Ebene, und jede dieser Ebenen steht senkrecht zu den durch die Mündung der Felskluft einfallenden Lichtstrahlen. Die traubigen Zellgruppen sind bald länger,



Vorkeim von *Schistostega osmundacea* mit linsenförmigen Zellen, deren Chlorophyllkörner den grünen Lichtreize bedingen. Stark vergrößert.

bald kürzer gestielt, immer aber erscheinen sie reihenweise neben- und hintereinander und sind kulisienartig so gestellt, daß die vorderen Gruppen den hinter ihnen stehenden nicht zu viel von dem in die Felskluft einfallenden Lichte wegnehmen. Jede der kugelförmigen Zellen enthält Chlorophyllkörner, aber in geringer Zahl, meist vier, sechs, acht, zehn, und diese sind stets an derjenigen Seite der Zelle zusammengedrängt, welche dem dunkeln Hintergrunde der Felskluft zugewendet ist. Dort sind sie mosaikartig gruppiert, und zwar häufig so, daß ein grünes Korn den Mittelpunkt bildet, während die anderen im Kreise um dasselbe herumstehen. Abgesehen von diesen Chlorophyllkörnern, ist der Zellinhalt farblos und durchsichtig und teilt diese Eigenschaft mit der ungemein zarten Zellhaut.

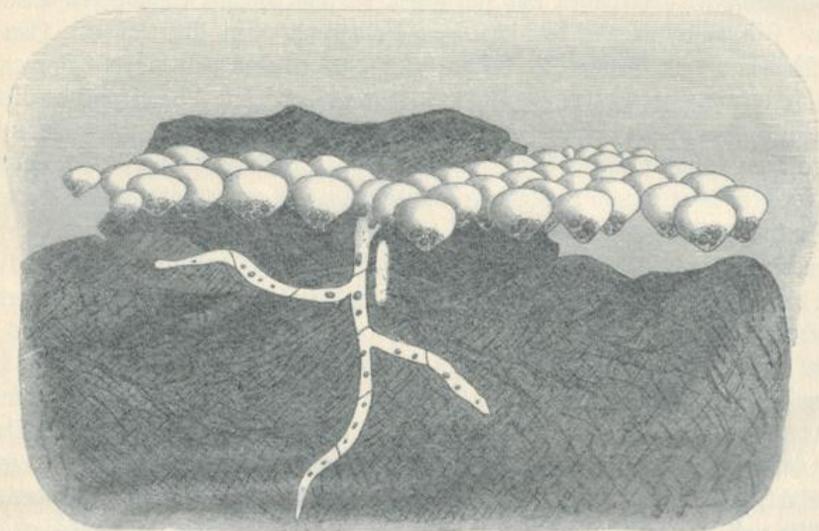
Das Licht, das auf solche Zellen durch die Mündung der Felskluft einfällt, wird durch die linsenähnlich wirkende Zelle auf die Chlorophyllkörner konzentriert. Sie werden heller beleuchtet und glänzen daher dem in das Dunkel hineinschauenden Auge goldiggrün entgegen, wie es der Künstler auf der beigehefteten Tafel möglichst getreu nach der Natur wiederzugeben versuchte. Das eigentümliche milde Leuchten läßt sich freilich in einem Bilde nicht so vollendet, als es wünschenswert wäre, zur Anschauung bringen, jedenfalls aber ist die



Leuchtmoos im Geklüfte der Schieferfelsen.

Nach Aquarell von Ernst Heyn.

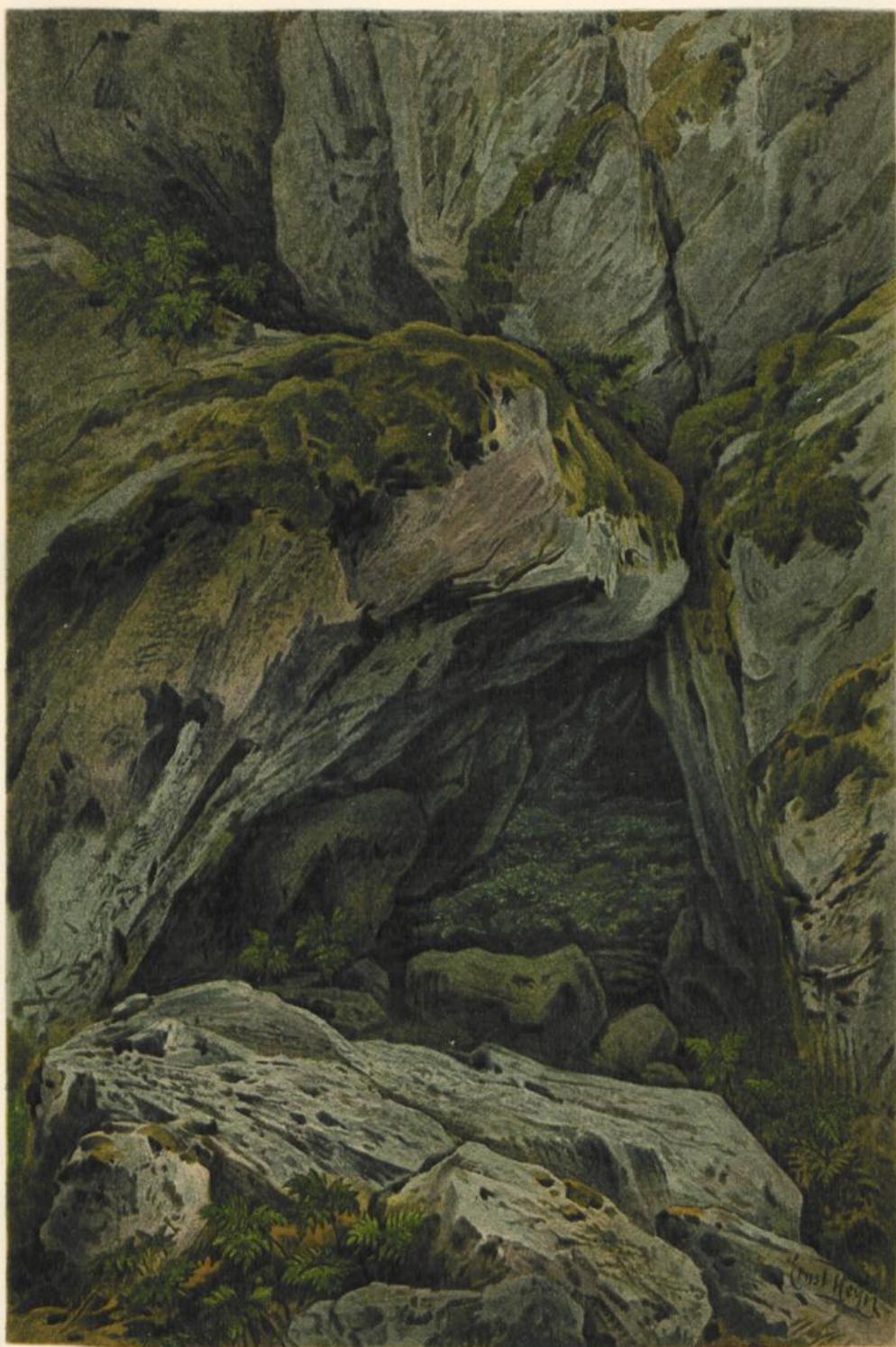
Schistostega an, und die Moospflänzchen wachsen als zweite Generation aus diesem Vorkeime hervor. Wie das geschieht, wird an anderer Stelle geschildert werden; hier interessiert nur, daß das Leuchten nicht von den bläulichgrünen Moospflänzchen, sondern von deren Vorkeime ausgeht. Betrachtet man den Vorkeime unter dem Mikroskop, so bietet sich ein Bild, wie es Fig. 15 der Tafel bei S. 22 von oben, die untenstehende Abbildung von der Seite zeigt. Von den horizontal über den Boden sich hinspinnenden, vielfach verzweigten Fäden, die aus schlauchförmigen Zellen zusammengesetzt werden, erheben sich zahlreiche Zweige, welche Gruppen aus traubensförmig geordneten, kugelförmigen Zellen tragen. Sämtliche Zellen einer Gruppe liegen in einer Ebene, und jede dieser Ebenen steht senkrecht zu den durch die Mündung der Felsluft einfallenden Lichtstrahlen. Die traubigen Zellgruppen sind bald länger,



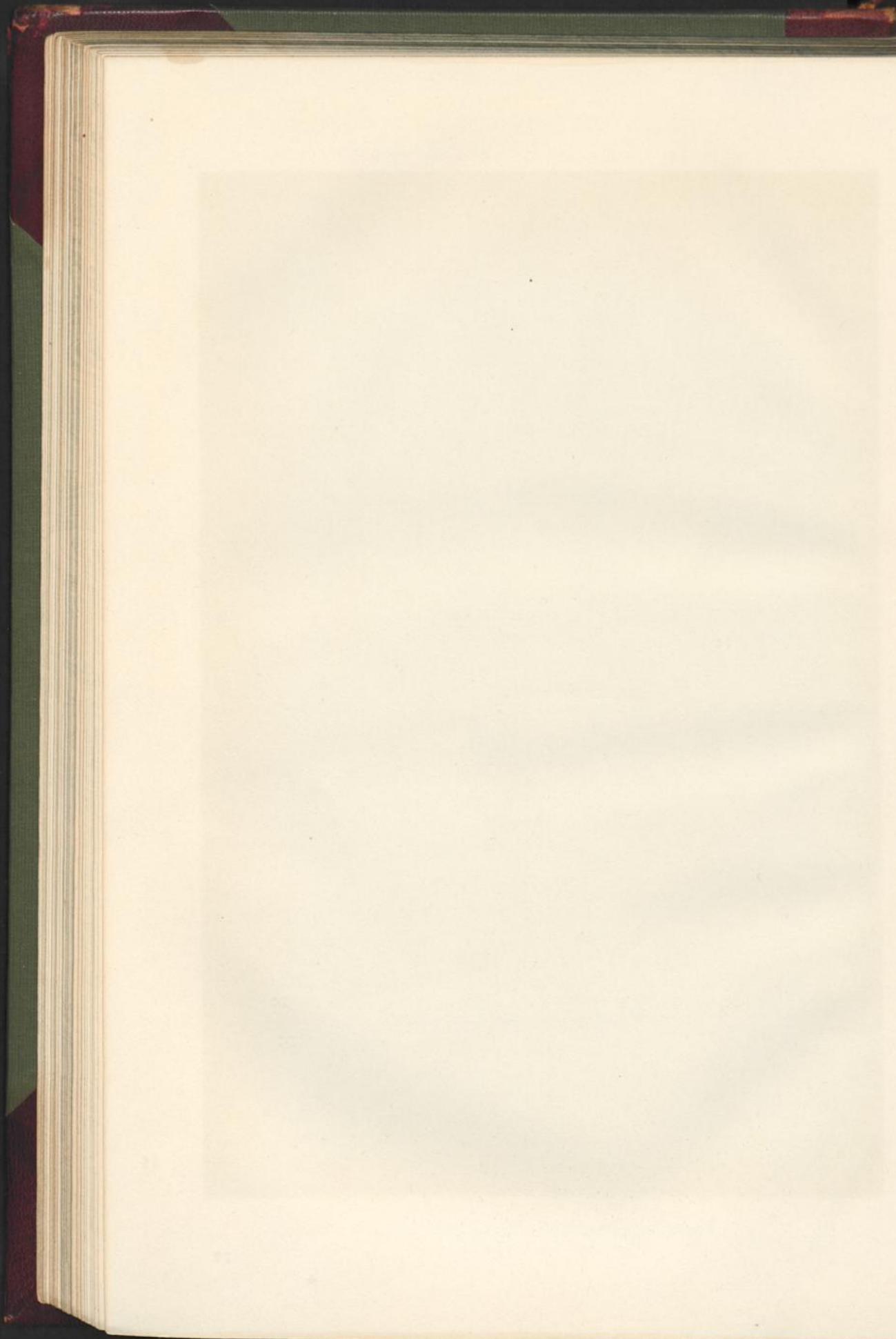
Vorkeime von *Schistostega osmundacea* mit linienförmigen Zellen, deren Chlorophyllkörner den grünen Lichtreflex bedingen. Stark vergrößert.

bald kürzer gestielt, immer aber erscheinen sie reihenweise neben- und hintereinander und sind fußförmig so gestellt, daß die vorderen Gruppen den hinter ihnen stehenden nicht zu viel von dem in die Felsluft einfallenden Lichte wegnehmen. Jede der kugelförmigen Zellen enthält Chlorophyllkörner, aber in geringer Zahl, meist vier, sechs, acht, zehn, und diese sind stets an derjenigen Seite der Zelle zusammengedrängt, welche dem dunkeln Hintergrunde der Felsluft zugewendet ist. Dort sind sie mosaikartig gruppiert, und zwar häufig so, daß ein grünes Korn den Mittelpunkt bildet, während die anderen im Kreise um dasselbe herumstehen. Abgesehen von diesen Chlorophyllkörnern, ist der Zellinhalt farblos und durchsichtig und teilt diese Eigenschaft mit der ungemein zarten Zellhaut.

Das Licht, das auf solche Zellen durch die Mündung der Felsluft einfällt, wird durch die linienförmig wirkende Zelle auf die Chlorophyllkörner konzentriert. Sie werden heller beleuchtet und glänzen daher dem in das Dunkel hineinschauenden Auge goldiggrün entgegen, wie es der Künstler auf der beigehefteten Tafel möglichst getreu nach der Natur wiederzugeben versuchte. Das eigentümliche milde Leuchten läßt sich freilich in einem Bilde nicht so vollendet, als es wünschenswert wäre, zur Anschauung bringen, jedenfalls aber ist die



Leuchtmoos im Geklüfte der Schieferfelsen.
Nach Aquarell von Ernst Heyn.



ganze Erscheinung durch das Bild dem Verständnis möglichst nahegerückt. Es handelt sich um ein ähnliches Zurückstrahlen von Licht, wie es das im Dunkeln leuchtende Tierauge zeigt.

Unter den an tiefschattigen Stellen, vorzüglich in ausgehöhlten Baumstrünken, heimischen und dort durch ihren grünen Glanz auffallenden Gewächsen ist das Laubmoos *Hookeria splendens* besonders bemerkenswert. Die Blättchen desselben schimmern zwar nicht so lebhaft wie der Vorkeim des Leuchtmooses, aber die Erscheinung ist immerhin ähnlich, und es liegt ihr auch eine ähnliche Ausbildung zugrunde. Die Blättchen der *Hookeria* sind verhältnismäßig groß, dabei sehr zart und dünn. Sie werden aus einer einfachen Schicht rhombischer, nach oben und unten stark vorgewölbter Zellen gebildet, so daß das ganze Blatt einigermassen einem Fenster mit sehr kleinen, sogenannten Bußenscheiben verglichen werden könnte. Die Chlorophyllkörner sind kleiner und bei weitem weniger regelmäßig geordnet als in den Zellen des Leuchtmoos-Vorkeimes, doch sind sie wie dort an jener Seite zusammengehäuft, mit der das Moosblättchen dem Dunkel zugewendet ist und dem Boden aufliegt. Gegenüber diesem spärlichen Lichte, das auf die eine Seite des Moosblattes einfällt, verhalten sich die halbkugelig vorgewölbten Zellen wie Glaslinsen. Sie konzentrieren das schwache Licht auf die an der gegenüberliegenden Seite gehäufte Chlorophyllkörner; anderseits wird von ihnen aber auch Licht reflektiert, und dieses bedingt eben den grünen Glanz, mit dem die *Hookeria* aus ihrem düsteren Standort hervorschimmert.

Gleich jenen Pflanzen, welche die Felsgrotten und Steinklüfte und das schattige Dunkel ausgehöhlter Baumstämme bewohnen, werden auch die Gewächse, die in den Tiefen des Meeres, der Seen und Teiche ihren Standort haben, nur von geschwächtem Sonnenlicht getroffen. Und zwar ist die Beleuchtung desto schwächer, je tiefer der betreffende Standort unter Wasser liegt, da die Stärke des durch das Wasser dringenden Lichtes mit wachsender Länge des zurückgelegten Weges abnimmt. In der Tiefe von 300 m herrscht im Meere bereits eine tiefe Dunkelheit; bei 170 m gleicht die Beleuchtungsstärke jener, welche in einer mondhellten Nacht über dem Wasser beobachtet wird. Eine solche Beleuchtung genügt den lebenden chlorophyllführenden Pflanzen nicht mehr, wenn sie aus den aufgenommenen Rohstoffen organische Substanz erzeugen sollen, und zwar selbst dann nicht, wenn die betreffenden Pflanzen mit allen möglichen Hilfsmitteln zur Sammlung des so schwachen Lichtes ausgestattet sein sollten. Erst weiter aufwärts, in der Tiefe von 130 m ist das Licht ausreichend, damit in den mit Chlorophyll versehenen Zellen die Kohlensäure zerlegt werden kann, und diese Tiefe ist auch als die unterste Grenze des natürlichen Vorkommens lebensfähiger chlorophyllhaltiger Wasserpflanzen ermittelt worden. An Steilküsten, wo auch noch durch die Brandung das Licht geschwächt wird, finden sich übrigens auch schon unterhalb 60 m Tiefe nur noch selten Pflanzen.

Im allgemeinen beschränkt sich die Pflanzenwelt im Meer auf einen längs des Strandes verlaufenden Gürtel von etwa 30 m Höhe und einer nach der Steilheit des Ufers wechselnden Breite. Unterhalb dieses schmalen Gürtels ist das Pflanzenleben so gut wie erloschen, und die Tiefe des Ozeanes ist in allen Zonen der Erde eine pflanzenleere Wüste. Daß man Tange gefunden hat, welche 100, ja angeblich sogar 200 und 300 m lang waren, wie namentlich die berühmte *Macrocystis pyrifera* zwischen Neuzeeland und dem Feuerlande, steht hiermit nicht im Widerspruch. Diese Tange erstrecken sich nicht lotrecht von der Oberfläche des Meeres zum Grunde, sondern gehen von steilen Böschungen aus und wachsen unter sehr schiefen Winkeln gegen die Oberfläche empor, wobei sie sich nicht selten

nach den Meeresströmungen richten. Man hat sich ihre Lage im Wasser ungefähr so zu denken wie jene der flutenden Wasserpflanzen in unseren Bächen, die, obgleich das Wasser dieser Bäche nur wenige Dezimeter tief ist, die Länge von einem Meter und darüber erreichen können.

Für die in den Tiefen des Meeres wachsenden Pflanzen sind die Beleuchtungsverhältnisse also recht ungünstig. Nicht genug, daß ein Teil des auf den Wasserspiegel auffallenden Lichtes reflektiert, der andere Teil bei seinem Durchgange durch das Wasser geschwächt wird, werden von den durchgehenden Strahlen auch noch diejenigen zurückgehalten, die für die Stoffbildung in den Chromoplasten notwendig sind.

Die Farbe des Meerwassers ist sowohl im durchfallenden als im reflektierten Lichte blau. Je größer die Durchsichtigkeit, desto tiefer das Blau. Nirgends erscheint dasselbe so schön und so tief im Ton wie im Toten Meer und im Bereiche des Golfstromes und des Kurosimo, wo das Wasser besonders durchsichtig und arm an Plankton und anderen Schwebestoffen ist und in den oberen Schichten auch eine höhere Temperatur zeigt. Bekanntlich sind aber auch das Mittelmeer, das Rote Meer und der Indische Ozean durch ihre herrlich blaue Farbe ausgezeichnet. Die blaue Farbe des Wassers wird in der Weise erklärt, daß von den durch verschiedene Wellenlängen und verschiedene Brechbarkeit charakterisierten Strahlen, welche zusammengenommen das farblose Tageslicht bilden, und die wir getrennt in den Farben des Regenbogens bewundern, das Rot, Orange und Gelb beim Durchgehen durch das Wasser absorbiert, und daß nur jene Strahlen, welche sich durch starke Brechbarkeit auszeichnen, namentlich die grünen und die blauen, durchgelassen werden. Dieses Licht erhalten daher die unter Wasser lebenden Algen.

Nun sind auffallenderweise die meisten in der Meerestiefe lebenden Algen nicht grün, sondern durch dem Chlorophyll beigemengte Farbstoffe braun oder rot gefärbt. Zumal alle Florideen sind in rote Tinten getaucht, bald in zarten Karmin, bald in tiefen Purpur, dann wieder in Braunrot und tiefes Violett. Man hat diese Farben neuerdings mit der Lichtabsorption in Beziehung gebracht, so daß je nach der Tiefe und den zutretenden Strahlungsgattungen die Farbe sich einstellt, um die für die Assimilation günstigen Strahlen noch zu gewinnen. Daß dabei, wie gemeint wurde, Fluoreszenz mitwirkt, welche die blauen Strahlen in rote und gelbe, für die Ernährung wirksame Strahlen umwandelt, ist kaum anzunehmen, da die Fluoreszenz auch beim Absterben der Algen auftritt, und der Florideenfarbstoff so wenig wie der Chlorophyllfarbstoff in der lebenden Pflanze fluoresziert.

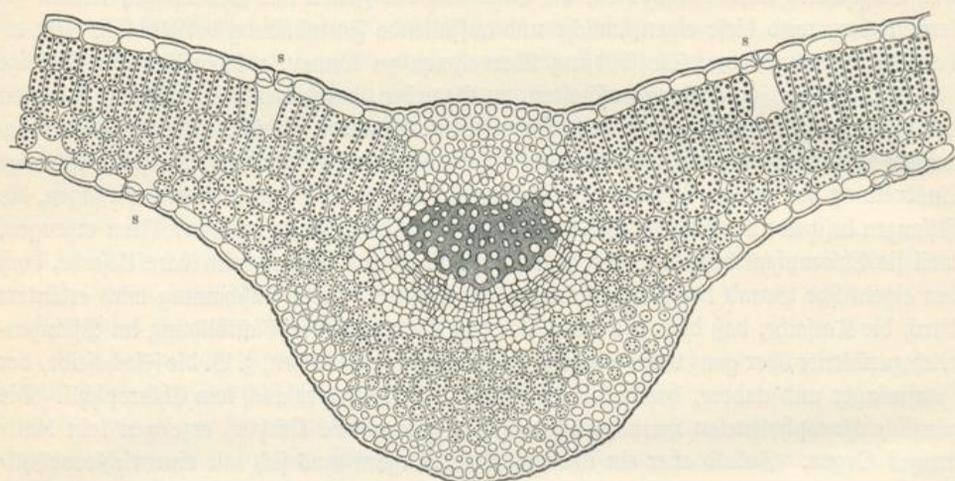
Mehrere der meerbewohnenden Florideen und Lango aus den Gattungen *Chylocladia*, *Chondriopsis coerulea*, *Scinaia* und *Cystosira* zeigen unter Wasser ein eigentümliches Glänzen und Leuchten, welches mit jenem des Leuchtmooses verglichen werden kann, wenn auch der optische Apparat hier ein wesentlich anderer ist. In den oberflächlichen Zellen der leuchtenden Chylocladien findet man, aus dem Protoplasma ausgeschieden und den Außenwänden dicht angeschmiegt, Platten, welche eine große Zahl kleiner, dicht gedrängter, linsenförmiger Körperchen einschließen. Von diesen winzigen Linsen wird das Licht, und zwar vorzüglich das blaue und grüne Licht, zurückgeworfen, und dadurch wird eben das eigentümliche Leuchten bewirkt. Bei *Chondriopsis* sind es kugelförmige Massen von gelblicher Farbe, welche wunderschön mit grünem und blauem Licht irisieren. Daß dieser Reflex eine Schutz-einrichtung gegen zu helles Licht sei, welche diese näher der Wasseroberfläche wohnenden Algenarten nötig hätten, bedarf wohl noch genauerer Untersuchung.

2. Die grünen Blätter als Träger des Chlorophylls.

Das ganze Pflanzenreich tritt in seinem allgemeinen äußeren Eindruck besonders dadurch in einen auffallenden Gegensatz zum Tierreiche, daß man bei den Pflanzen überall Blätter findet. Von einer Pflanze setzt man voraus, daß sie Blätter besitzt, beim Tier sucht man diese Organe nicht. In der Tat finden wir, mit den einfacheren Pflanzen beginnend, schon bei Algen und Lebermoosen dünne blattartige grüne Flächen, und im höheren Gewächsreiche das dünne Blatt als ganz allgemein verbreitetes Organ. Man hatte in früherer Zeit für diesen Charakter der Pflanzen keine Erklärung. Nachdem wir aber eine ihrer physiologischen Haupteigenschaften, die Begabung der Zellen mit Chlorophyll, kennen gelernt haben, wird diese eigentümliche und auffallende Formbildung verständlich. Um erhebliche Leistungen von Stoffbildung übernehmen zu können, müssen chlorophyllhaltige Zellen sich zu größeren Genossenschaften, zu Geweben, vereinigen. Da aber die Tätigkeit des Chlorophylls unbedingt an helle Beleuchtung gebunden ist, so müssen diese Gewebemassen sehr dünn sein, um vom Sonnenlicht durchdrungen zu werden. Die flächenförmige Ausbreitung der grünen Gewebe ist also eine Notwendigkeit. Daher können wir sagen, die Pflanzen besitzen nicht Blätter, weil sie Pflanzen sind, sondern sie müssen Blätter erzeugen, weil sie Chlorophyll besitzen. Das Chlorophyll ist, wenn nicht unmittelbare Ursache, doch der eigentliche Grund der Formenbildung der Blätter. Diese Anschauung wird erläutert durch die Tatsache, daß dort, wo das Chlorophyll mangelt, die Blattbildung im Pflanzenreich zurücktritt oder ganz verschwindet. Die Schmarotzerpflanzen, z. B. die Flachsseide, der Hanfwürger und andere, haben keine Blätter, sie besitzen aber auch kein Chlorophyll. Die gänzlich chlorophyllfreien Hutpilze bilden dicke, gedrungene Körper, erzeugen kein blattartiges Organ. Sobald aber ein chlorophyllloser Organismus sich mit einem chlorophyllhaltigen vereinigt, wie das bei den Flechten der Fall ist, wo Pilze und Algen zusammentreten, erfolgt wieder Flächenbildung. Die Flechten bilden breite, blattartige Lappen, da sonst ihr chlorophyllhaltiger Bestandteil nicht zur Geltung käme.

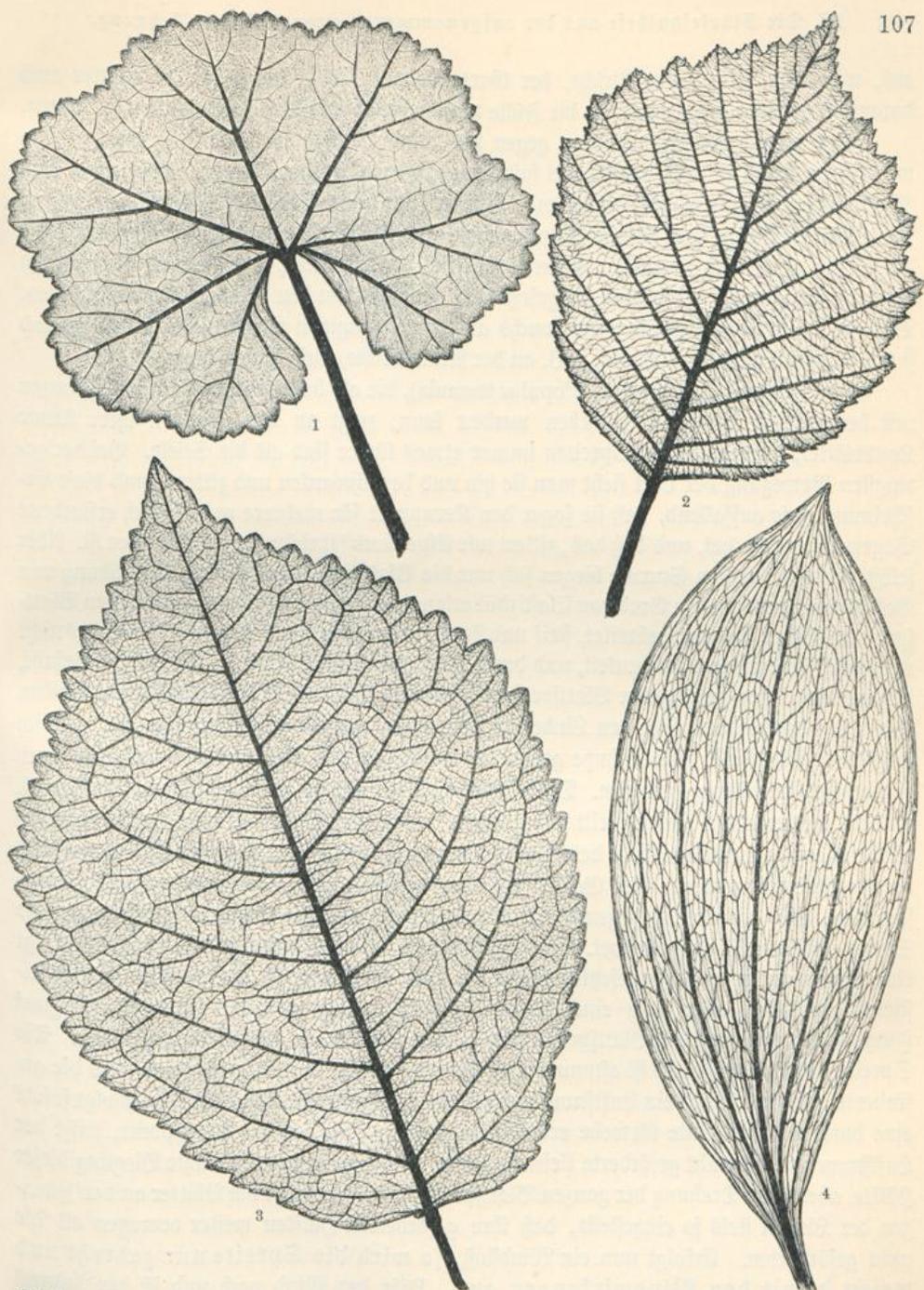
So können wir denn die Blätter mit ihrem reichen Formenschatz erst recht verstehen, wenn wir sie immer als das betrachten, was sie in ihrem Wesen sind, als Träger für das Chlorophyll, als dem Licht angepasste Organe. Darauf zielt auch der ganze innere Bau der Blätter. Wir haben schon früher die Oberhaut des Blattes mit ihren Eingängen für die Kohlenäure, den Spaltöffnungen, kennen gelernt. Diese Oberhaut bedeckt beiderseits das chlorophyllführende Blattgewebe. Das grüne Gewebe besteht aus mehreren Schichten von Zellen, die in der Mehrzahl der Fälle an der Oberseite des Blattes anders geformt sind, wie an der Unterseite, was an dem Durchschnitt eines Passiflorenblattes auf der Tafel bei S. 22, Fig. 17, zu sehen ist. Die Oberflächenzellen sind, wie die Abbildung auf S. 106 zeigt, meistens vielmal höher als breit, stehen gerade und dicht nebeneinander, weshalb man sie auch Palisadenzellen genannt hat. Die Blattunterseite dagegen setzt sich aus kugelligen oder auch armförmigen Zellen zusammen, die Lufträume zwischen sich lassen, daher wegen ihrer Lockerheit auch Schwammparenchym heißen. Demnach ist das obere Blattgewebe chlorophyllreicher als das lufthaltige untere, daher sehen die Blattunterseiten auch gewöhnlich viel heller grün aus. Ein sehr auffallender Bestandteil der Blätter ist ihre sogenannte Nervatur, das wundervolle Adernetz, welches man klar erkennt,

wenn ein Blatt von der Sonne durchleuchtet wird. Diese Adern erscheinen dann farblos im grünen Blattgewebe. Trotz des Namens sind es keine „Nerven“, die den Pflanzen vollständig fehlen, sondern feine Stränge, Gefäßbündel genannt, welche die Zellen des Blattes mit Wasser versorgen sollen und sich deshalb außerordentlich fein verzweigen. Auffallend ist es, wie ungemein genau die Nervatur sich an die Form des ganzen Blattes anpaßt (vgl. die Abbildungen auf S. 107). Das hat außer der Wasserzuführung noch einen anderen Zweck. Das nur wenige Zehntelmillimeter dicke grüne Blattgewebe würde, wenn das Blatt auch nur eine mittlere Größe erreicht, gar nicht die horizontale Lage annehmen können, die das einfallende Sonnenlicht verlangt, wenn es nicht einen Halt hätte. Die Aufgabe, die dünne Blattlamelle auszuspannen, fällt der Blattnervatur zu. Die Hauptnerven



Durchschnitt durch den mittleren Teil des Blattes der Syringe (*Syringa vulgaris*): oben und unten die großzellige Epidermis mit Spaltöffnungen *s*, rechts und links von dem durchschnittenen Mittelnerv das chlorophyllhaltige Parenchym, an der Oberseite als Palisadenparenchym, an der Unterseite als kugeliges Schwammparenchym ausgebildet. Die Chlorophyllkörner sind als schwarze Punkte in den Zellen angedeutet. (Zu S. 105.)

der Blätter springen auf der Unterseite stark hervor, und an sie setzen sich seitlich andere an. Alle diese Blattnerven haben das Bestreben, sich durch Wachstum zu verlängern. Da sie aber daran durch das mit ihnen verwachsene Blattgewebe verhindert sind, so entsteht eine Spannung, ähnlich wie bei einem Regenschirm zwischen dem Gestänge und dem Stoff. So wird das Blatt trotz seiner Zartheit zu einer unverbiegbaren Fläche. Wir verstehen es nun, weshalb die Nervatur sich so eng den Umrissen des Blattes anpaßt. Bei zugespitzten, einfachen Blättern verläuft ein Hauptnerv von der Basis zur Spitze, bei mehrteiligen, z. B. einem Hornblatte, verlaufen mehrere gleichstarke Rippen in der Blattfläche und jeder endigt in einer der fünf Spitzen, die er stützt, und so kann man an zahlreichen Blättern die Besonderheit ihrer Nervatur studieren. Aber noch einen anderen Wert hat die Nervatur. Sie schützt die Blätter vor dem Einreißen, dem sie im Winde schutzlos preisgegeben wären. Darum verlaufen eine Anzahl paralleler Nerven von den Hauptnerven gegen den Rand und verzweigen sich hier weiter, jedes Randstückchen stützend, oder die Seitennerven verlaufen bogenförmig und setzen sich an die nächstbordere Rippe an. So entsteht eine Reihe von Gewölben innerhalb des Blatttrandes, oft setzt sich auf ein Bogensystem ein zweites und drittes



Blattneraturen: 1 niereförmiges Blatt der Malve (*Malva sylvestris*) mit mehreren, die Blattfläche stützenden Hauptnerven, an die die Seitennerven in spitzen Winkeln ansetzen; 2 Blatt der Grauerle (*Alnus incana*), der Hauptnerv läuft bis zur Spitze, die Seitennerven endigen in einem Blattzahne des Randes, das zwischen zwei Seitennerven liegende Gewebe wird durch stärkere Nerven befestigt; 3 Blatt der Süßholzwurzel (*Prunus avium*), die Seitennerven setzen sich bogenförmig an die höher gelegenen Seitennerven an, von diesen Bogen gehen gerade Nerven an den Rand; 4 Blatt des Türkenbundes (*Lilium martagon*), mehrere parallel verlaufende stärkere Nerven sind durch Querverbindungen vereinigt. Nach Ettinghausen und Potorny, „Die wissenschaftliche Anwendung des Naturfeldrucks zur graphischen Darstellung von Pflanzen“, Wien 1856. (Zu S. 106.)

auf, wie beim Tabak, der Kirsche, der Gartenbohne. Es ist lehrreich, die Blätter auch daraufhin genauer anzusehen, um die Fülle verschiedener Konstruktionen kennen zu lernen.

Eine andere Schutzeinrichtung gegen die Windbeschädigung bilden die langen beweglichen Blattstiele, die sich bei fast allen größeren Blättern finden. Nur kleine, dem Winde keinen Angriffspunkt darbietende Blätter sind ohne Stiel am Stengel angeheftet. Diese Einrichtungen, dem Winde auszuweichen, sind für die Blätter ebenso notwendig, wie der Schutz gegen das Zerreißen, denn es hat sich herausgestellt, daß Blätter, die dauernd einem mäßig starken Windstrom ausgesetzt sind, langsam von den Rändern her austrocknen. Das ist die Ursache, weshalb Baumwuchs an dauernd zugigen Stellen schlecht gedeiht und sich in dauernd windigem Klima, z. B. an der Nordseeküste, nicht halten kann.

Die Espe oder Zitterpappel (*Populus tremula*), die als bestes Beispiel für die Pflanzen mit beweglichen Blättern angesehen werden kann, zeigt an den Zweigen ihrer Krone Laubblätter, deren rundliche Spreiten immer etwas kürzer sind als die Stiele. Bei der geringsten Bewegung der Luft sieht man sie hin und her schwanke und zittern, und diese Erscheinung ist so auffallend, daß sie sogar den Kernpunkt für mehrere recht hübsch erfundene Sagen abgegeben hat, und daß das „zittert wie Espenlaub“ sprichwörtlich geworden ist. Aber selbst bei dem stärksten Sturme biegen sich nur die Blattstiele, welche durch Ausbildung von Bastbündeln einen hohen Grad von Elastizität erlangt haben; die von ihnen getragenen Blattspreiten bleiben flach ausgebreitet, steif und starr, werden durch den Anprall des Windes nicht verbogen, sondern nur geschaukelt, und durch diese elastischen Blattstiele ist daher die Gefahr, daß die von ihnen getragenen Blattspreiten unter dem Einflusse des Windes Schaden leiden könnten, abgewendet. Bei den Linden ist, abgesehen von der Ausbildung langer, elastisch biegsamer Blattstiele, zum Schutze gegen das Verbiegen und Knicken der Blattspreite noch eine zweite Einrichtung getroffen. Die Blattspreiten der Linden sind niemals ganz horizontal, sondern immer etwas schiefgestellt und gedreht. Diese Schiefstellung kann durch den wechselnden Turgor in dem am Ende des Blattstiels ausgebildeten Gewebekörper bald vergrößert, bald verkleinert werden. Bei Gefahr des Vertrocknens, in Folge zu weit gehender Transpiration, wird die untere, gegen Verdunstung besser geschützte Blattseite mehr gegen die Sonne und den Wind gewendet. In feuchter Luft und bei schweigenden Winden erfolgt eine Wendung in entgegengesetzter Richtung. Der Gewebewulst an der Basis des Blattstiels ermöglicht aber auch eine passive Drehung. Faßt man den Blattstiel mit zwei Fingern, so kann man die Blattspreite nach beiden Richtungen vollständig umdrehen. Die Spreite des Lindenblattes ist asymmetrisch; die eine Hälfte ist stets größer und wird die geförderte genannt. Wird ein Luftstrom nur auf die geförderte Hälfte geleitet, so erfolgt sofort eine durch das erwähnte Gewebe ermöglichte Drehung der ganzen Blattspreite, trifft der Luftstrom nur die nicht geförderte kleinere Hälfte, so erfolgt zwar eine leichte Biegung dieser Hälfte, aber keine Drehung der ganzen Blattspreite. Nun sind aber die Blätter an den Zweigen der Linden stets so eingestellt, daß ihre geförderten Hälften weiter vorragen als die nicht geförderten. Erfolgt nun ein Windstoß, so wird die Spreite nur gedreht und weicht damit den Windwirkungen aus. Läßt der Wind nach und ist der Anprall vorüber, so kehrt die Spreite in ihre frühere Lage zurück.

Gewächse mit unterirdischen Zwiebeln und Wurzelstöcken entwickeln der Mehrzahl nach aufrechte Laubblätter. Solche Laubblätter sind der Knickung durch den in horizontaler Richtung daherflutenden Wind sehr ausgesetzt. Damit sie dieser Gefahr entgehen, ist



Grasbäume mit Bogenblättern und Eukalyptuswald (Australien).

Nach Aquarell von J. Selleny.

auf mehrfache Weise vorgejort. Zunächst durch die Ausbildung von Röhrenblättern. Die Röhrenblätter sind dort, wo sie den Stengel oder die Nachbarblätter umfassen, ähnlich den reitenden Blättern der Schwertlilien, scheidenförmig gestaltet, sonst hohl, in lange Hohlzylinder ausgezogen und oben durch Hohlkegel abgeschlossen. Eine deutliche Mittelrippe ist nicht zu erkennen; an der gegen die Mittelachse des ganzen Pflanzenstocdes gewendeten Seite sieht man manchmal eine leichte Furche, sonst ist das Röhrenblatt ringsum gleichmäßig ausgebildet. Es macht nicht den Eindruck besonderer Widerstandsfähigkeit, und es fehlen ihm auch jene zelligen Elemente, welche man sonst zur Vermehrung der Festigkeit angewendet sieht, und dennoch besitzt es, wie alle Röhren, eine relativ große Biegefestigkeit und wird selbst bei heftigen Stürmen selten geknickt. Im ganzen ist diese auffallende Form des Laubblattes selten; am häufigsten beobachtet man sie noch an Zwiebelgewächsen, wie z. B. am sibirischen und Schnittlauch, der Winter- und Sommerzwiebel (*Allium Sibiricum*, *Schoenoprasum*, *Cepa* und *fistulosum*). Häufiger begegnet man Bildungen, welche sich der Röhrenform dadurch einigermaßen nähern, daß ihre grünen, lang ausgezogenen Flächen der Länge nach röhrenförmig zusammengerollt sind, und zwar bald nach der gegen die Mittelachse der ganzen Pflanze gewendeten Seite, bald nach der Rückseite. Besonders bemerkenswert ist die Rollung, welche an den Blättern der Safranarten beobachtet wird. Man sieht da durch die ganze Länge des aufrechten Blattes einen weißen Mittelstreifen verlaufen, der von zwei grünen Bändern eingefasst ist. Diese grünen Bänder erscheinen bei flüchtigem Ansehen flach, sind es aber nicht; in Wirklichkeit ist jedes dieser grünen Blätter zurückgerollt, und man sieht daher am Safranblatt eigentlich zwei grüne Röhren, durch den weißen, chlorophylllosen Mittelstreifen verbunden. Durch die aufrechte Lage unterscheidet es sich von dem in gewisser Beziehung ähnlichen, aber in seiner Bedeutung verschiedenen Rollblatte, welches auf S. 217—222 dieses Bandes ausführlicher behandelt wird.

Als zweite hierher gehörige Schutzvorrichtung ist das Schraubenblatt zu nennen. Diese ist besonders häufig an den Blättern von Zwiebelgewächsen, Rohrkolben und Gräsern, und zwar schon an den ganz jungen Pflanzen, wie z. B. an den ersten grünen Laubblättern der Gerste und des Roggens, zu sehen. Meistens sind es lange, schmale, aufgerichtete Blätter, welche diese schraubige Drehung zeigen. Bald beschränkt sie sich nur auf einen, ja selbst nur auf einen halben Schraubengang, bald sind es 2, 3, manchmal sogar 4—6 Windungen, welche beobachtet werden. Die Blätter der Mistel (*Viscum album*), des neuseeländischen Flachses (*Phormium tenax*), des Asphodills (*Asphodelus albus*), der meisten bartlosen Schwertlilien und einiger Kiefern zeigen nur einen halben oder höchstens einen ganzen Schraubengang, jene des schmalblättrigen Rohrkolbens (*Typha angustifolia*), der Narzissen und zahlreicher Laucharten (z. B. *Allium senescens*, *rotundum*, *obliquum*) 1½—3 Drehungen, jene der Sternbergia Clusiana 3—4 und die der persischen Sternbergia stipitata sogar 5—6 Windungen. Solche Laubblätter haben dann, auffällig genug, ein lödenförmiges Aussehen. Daß ein solches Schraubenblatt sich in seiner mechanischen Bedeutung dem Röhrenblatte nähert, und daß es eine größere Biegefestigkeit besitzt als eine ebene Blattfläche, steht außer Frage. In den Blättern des Rohrkolbens kann man auch sehen, daß bei heftigem Winde die aufrecht stehenden Blätter nicht nur gebeugt, sondern auch etwas ausgestreift werden, daß nämlich an dem gebeugten Blatte die Schraube etwas mehr in die Länge ausgezogen wird. Sobald aber der Anstoß des Windes nachläßt und das Blatt wieder in die vertikale Lage zurückkehrt, stellt sich auch die frühere Form der Drehung wieder her.



Grasbäume mit Bogenblättern und Eukalyptuswald (Australien).

Nach Aquarell von J. Selleny.

auf mehrfache Weise vorgefugt. Zunächst durch die Ausbildung von Röhrenblättern. Die Röhrenblätter sind dort, wo sie den Stengel oder die Nachbarblätter umfassen, ähnlich den reitenden Blättern der Schwertlilien, scheidenförmig gestaltet, sonst hohl, in lange Hohlzylinder ausgezogen und oben durch Hohlkegel abgeschlossen. Eine deutliche Mittelrippe ist nicht zu erkennen; an der gegen die Mittelachse des ganzen Pflanzenstockes gewendeten Seite sieht man manchmal eine leichte Furche, sonst ist das Röhrenblatt ringsum gleichmäßig ausgebildet. Es macht nicht den Eindruck besonderer Widerstandsfähigkeit, und es fehlen ihm auch jene zelligen Elemente, welche man sonst zur Vermehrung der Festigkeit angewendet sieht, und dennoch besitzt es, wie alle Röhren, eine relativ große Biegefestigkeit und wird selbst bei heftigen Stürmen selten geknickt. Im ganzen ist diese auffallende Form des Laubblattes selten; am häufigsten beobachtet man sie noch an Zwiebelgewächsen, wie z. B. am sibirischen und Schnittlauch, der Winter- und Sommerzwiebel (*Allium Sibiricum*, *Schoenoprasum*, *Cepa* und *fistulosum*). Häufiger begegnet man Bildungen, welche sich der Röhrenform dadurch einigermaßen nähern, daß ihre grünen, lang ausgezogenen Flächen der Länge nach röhrenförmig zusammengerollt sind, und zwar bald nach der gegen die Mittelachse der ganzen Pflanze gewendeten Seite, bald nach der Rückseite. Besonders bemerkenswert ist die Rollung, welche an den Blättern der Safranarten beobachtet wird. Man sieht da durch die ganze Länge des aufrechten Blattes einen weißen Mittelstreifen verlaufen, der von zwei grünen Bändern eingefasst ist. Diese grünen Bänder erscheinen bei flüchtigem Ansehen flach, sind es aber nicht; in Wirklichkeit ist jedes dieser grünen Blätter zurückgerollt, und man sieht daher am Safranblatt eigentlich zwei grüne Röhren, durch den weißen, chlorophylllosen Mittelstreifen verbunden. Durch die aufrechte Lage unterscheidet es sich von dem in gewisser Beziehung ähnlichen, aber in seiner Bedeutung verschiedenen Rollblatte, welches auf S. 217—222 dieses Bandes ausführlicher behandelt wird.

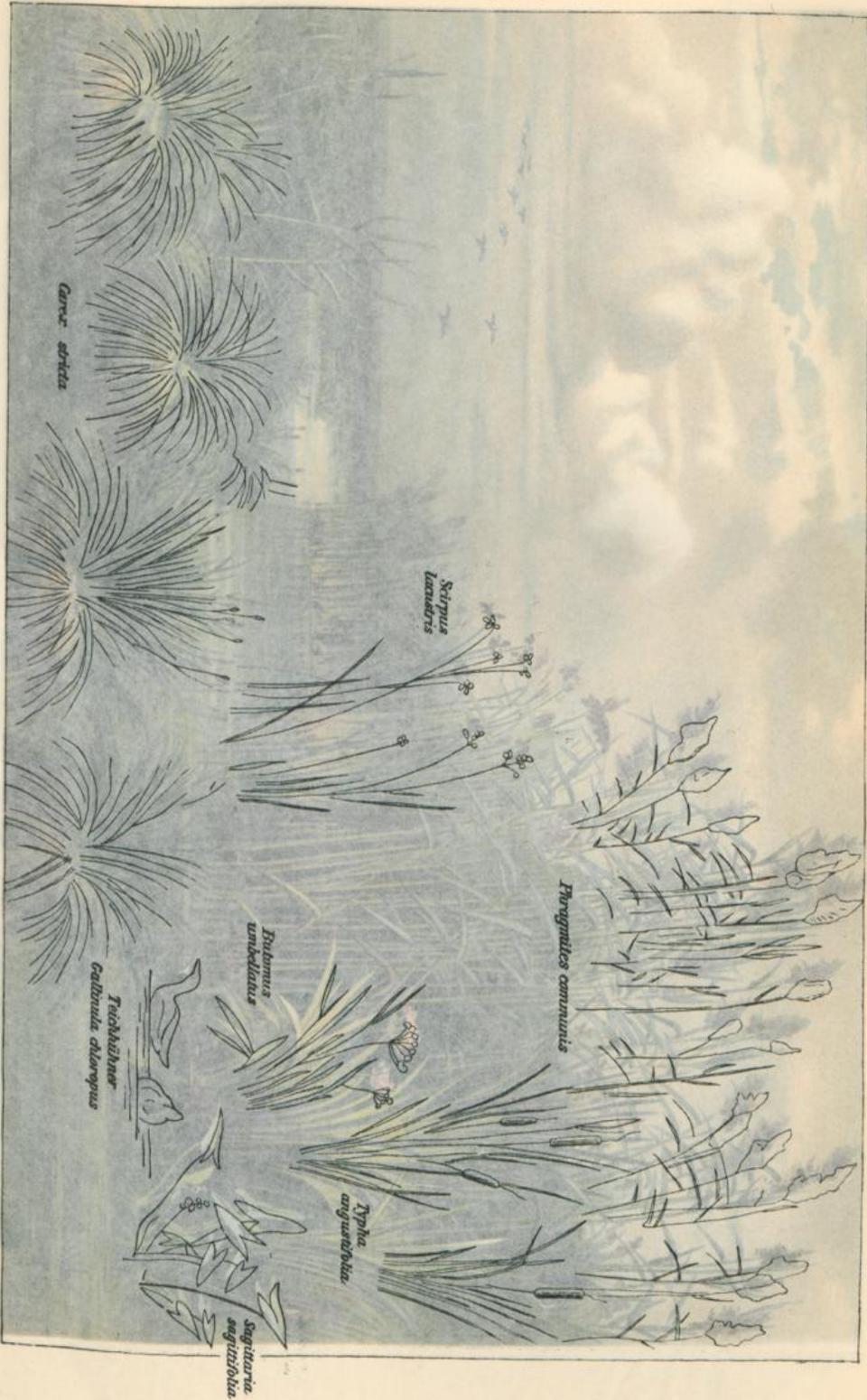
Als zweite hierher gehörige Schutzvorrichtung ist das Schraubenblatt zu nennen. Diese ist besonders häufig an den Blättern von Zwiebelgewächsen, Rohrkolben und Gräsern, und zwar schon an den ganz jungen Pflanzen, wie z. B. an den ersten grünen Laubblättern der Gerste und des Roggens, zu sehen. Meistens sind es lange, schmale, aufgerichtete Blätter, welche diese schraubige Drehung zeigen. Bald beschränkt sie sich nur auf einen, ja selbst nur auf einen halben Schraubenumgang, bald sind es 2, 3, manchmal sogar 4—6 Windungen, welche beobachtet werden. Die Blätter der Mistel (*Viscum album*), des neuseeländischen Flachses (*Phormium tenax*), des Asphodills (*Asphodelus albus*), der meisten hartlosen Schwertlilien und einiger Riefen zeigen nur einen halben oder höchstens einen ganzen Schraubenumgang, jene des schmalblättrigen Rohrkolbens (*Typha angustifolia*), der Narzissen und zahlreicher Laucharten (z. B. *Allium senescens*, *rotundum*, *obliquum*) $1\frac{1}{2}$ —3 Drehungen, jene der *Sternbergia Clusiana* 3—4 und die der persischen *Sternbergia stipitata* sogar 5—6 Windungen. Solche Laubblätter haben dann, auffällig genug, ein lockenförmiges Aussehen. Daß ein solches Schraubenblatt sich in seiner mechanischen Bedeutung dem Röhrenblatte nähert, und daß es eine größere Biegefestigkeit besitzt als eine ebene Blattfläche, steht außer Frage. An den Blättern des Rohrkolbens kann man auch sehen, daß bei heftigem Winde die aufrecht stehenden Blätter nicht nur gebeugt, sondern auch etwas ausgestreift werden, daß nämlich an dem gebeugten Blatte die Schraube etwas mehr in die Länge ausgezogen wird. Sobald aber der Anstoß des Windes nachläßt und das Blatt wieder in die vertikale Lage zurückkehrt, stellt sich auch die frühere Form der Drehung wieder her.

Der Vorteil, den ein aufrechtes, schraubig gedrehtes Blatt gegenüber einem aufrechten, ebenflächigen gegen Windstöße besitzt, wird recht anschaulich, wenn man sich beide Blattformen in nächster Nähe dem gleichstarken Luftstrom ausgesetzt denkt. Trifft der horizontal daher kommende Luftstrom auf die Breitseite eines ebenflächigen, aufrechten, steifen Blattes, so werden alle Punkte der Blattfläche senkrecht getroffen, und das Blatt wird eine sehr starke Biegung, möglicherweise auch eine Knickung erfahren; gelangt er aber auf das aufrechte, schraubig gewundene Blatt, so werden alle Punkte desselben unter schiefen, und zwar sehr verschieden schiefen Winkeln getroffen, der Luftstrom wird gleichsam in unzählige Luftströme gespalten, welche, den Windungen der Schraube entlang fortgleitend, nur eine geringe Biegung bewirken und kaum jemals eine Knickung veranlassen. Wenn man solche Schraubenblätter in einiger Entfernung vom Winde bewegt sieht, so macht diese Bewegung auch einen ganz eigentümlichen Eindruck, weit mehr den Eindruck des Zitterns, Schwankens und Drehens als jenen des Beugens.

An die Form des Schraubenblattes schließt sich jene des Bogenblattes an. Im Beginne der Entwicklung ist das Bogenblatt aufrecht und ebenflächig; ausgewachsen bildet es einen nach oben zu konvergen Bogen. Es kann sowohl seitlich von aufrechten, schlanken Halmen ausgehen oder dicht über der Erde oder endlich vom Scheitel eines kürzeren oder längeren Stammes entspringen, wie beispielsweise bei den Grasbäumen (*Xanthorrhoea*); s. die Tafel „Grasbäume mit Bogenblättern und Eukalyptuswald (Australien)“ bei S. 109. Sehr auffallend sind die Bogenblätter der Gräser, welche im Grund und am Rande der Wälder sowie an steilen Berglehnen ihren Standort haben, wie z. B. bei *Milium effusum*, *Melica altissima*, *Calamagrostis Halleriana*, *Brachypodium silvaticum*, *Avena flavescens* und *Triticum caninum*. Auch die von den Halmen ausgehenden Blätter der auf den Feldern kultivierten Nutzgräser, beispielsweise die des Hafers und des Maises (*Avena sativa* und *Zea Mais*), sind als Bogenblätter ausgebildet. Dringt der Wind auf die Blätter dieser Pflanzen ein, so werden die Bogen, die sie bilden, bald verengert, bald erweitert, je nachdem der Wind von dieser oder jener Seite herkommt. Bei ruhiger Luft nimmt ein solches Blatt gewissermaßen eine mittlere Stellung ein. Mag dann der Bogen bei bewegter Luft weiter oder enger werden, auf keinen Fall ist die dabei stattfindende Krümmung so weitgehend, daß die Blattspitze geknickt werden könnte. Zudem sind diese Blätter durch eine entsprechende Einlagerung von Bastbündeln so zugest gemacht, daß selbst heftige Stürme ihnen nicht viel anhaben können. Bei diesen Gräsern mit bogenförmig überhängenden bandartigen Blattspitzen kommt es auch vor, daß sämtliche Blätter nach derselben Seite gewendet sind, so daß sie fast ein ähnliches gekämmtes Aussehen erhalten wie jene des Rohres (s. S. 111), obschon ihre Scheiden um die Halme nicht drehbar sind.

Eine andere Einrichtung besteht darin, daß die ziemlich steifen Blattflächen wie Windfahnen um den Stengel, von dem sie ausgehen, drehbar sind. Sie findet sich verwirklicht an mehreren rohrartigen Gräsern, besonders auffallend an *Phalaris arundinacea*, *Eulalia Japonica* und an dem weitverbreiteten Rohr *Phragmites communis* (s. die beigeheftete Tafel „Rohr und Niedgras in einem Sumpf an der Donau in Ungarn“). Dieses letztere, welches oft in unermesslichen Beständen in den sumpfigen Niederungen und Talböden und im Ufergelände der Flüsse angesiedelt ist, entwickelt hohe, schlanke Halme, die mit zahlreichen Blättern besetzt sind. Diese Blätter bestehen, wie die Blätter aller Gräser, aus der vom Stengel abstehenden Spreite, welche lineal, ziemlich breit und zugespitzt ist, und

[Zur Tafel: »Rohr- und Riedgras.«]



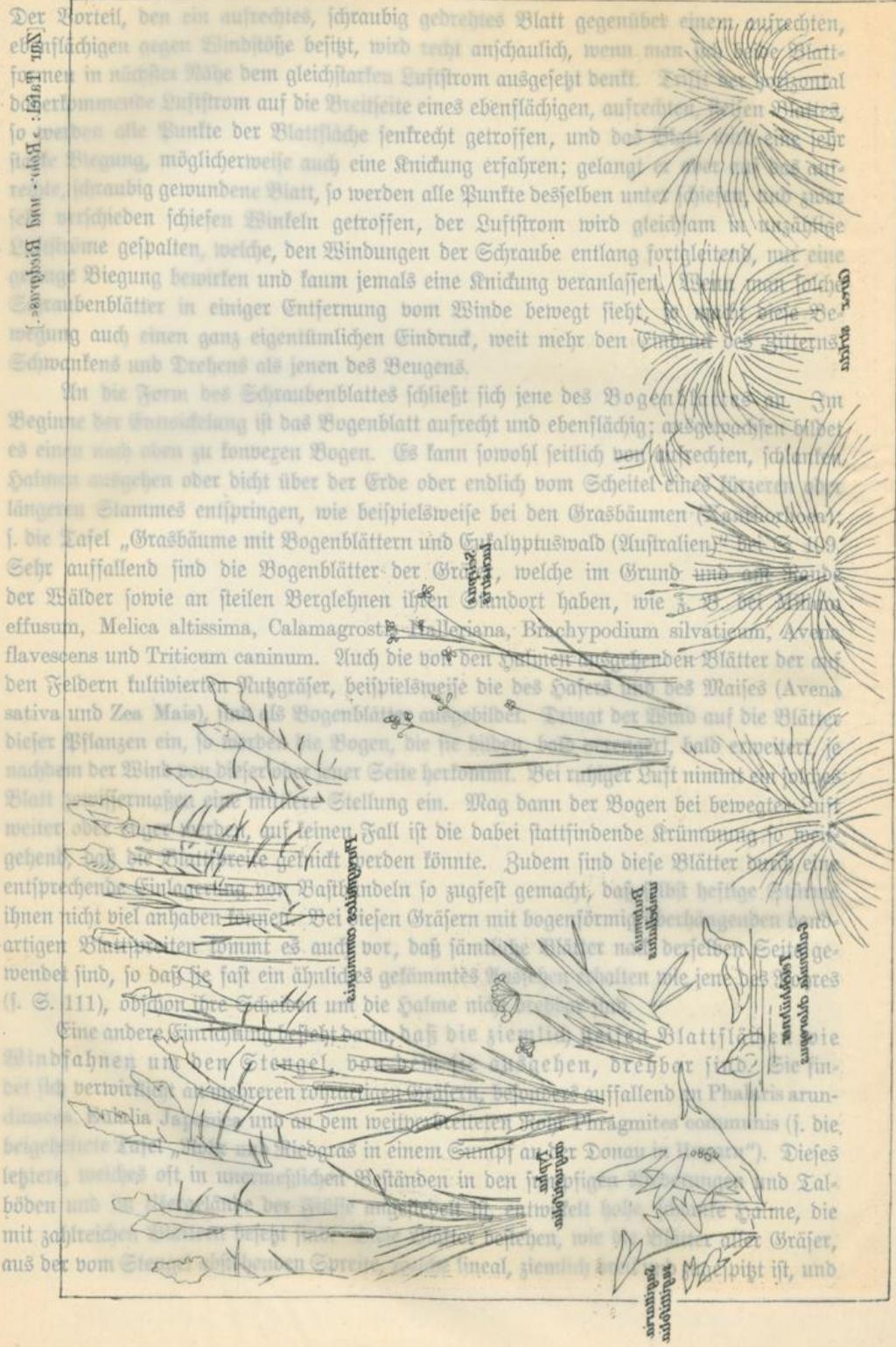
Rohr und Riedgras in einem Sumpf an der Donau in Ungarn.

Nach Figuren von Anton v. Kerner.

Der Vorteil, den ein aufrechtes, schraubig gedrehtes Blatt gegenüber einem aufrechten, ebenflächigen gegen Windstöße besitzt, wird recht anschaulich, wenn man sich die Blattflächen in nächster Nähe dem gleichstarken Luftstrom ausgesetzt denkt. Der horizontal herkommende Luftstrom auf die Breitseite eines ebenflächigen, aufrechten Blattes so werden alle Punkte der Blattfläche senkrecht getroffen, und das Blatt erfährt eine sehr starke Biegung, möglicherweise auch eine Knickung erfahren; gelangt es aber an ein aufrecht schraubig gewundene Blatt, so werden alle Punkte desselben unter ziemlich abweichend verschiedenen schiefen Winkeln getroffen, der Luftstrom wird gleichsam in unzählige Richtungen gespalten, welche, den Windungen der Schraube entlang fortleitend, nur eine geringe Biegung bewirken und kaum jemals eine Knickung veranlassen. Wenn man solche Schraubenblätter in einiger Entfernung vom Winde bewegt sieht, so macht diese Bewegung auch einen ganz eigenartigen Eindruck, weit mehr den Eindruck des Hülfens, Schwankens und Drehens als jenen des Beugens.

In die Form des Schraubenblattes schließt sich jene des Bogenblattes an. Im Beginne der Entwicklung ist das Bogenblatt aufrecht und ebenflächig; ausgerechnet bildet es einen nach oben zu konvergierenden Bogen. Es kann sowohl seitlich von der Erde oder endlich vom Scheitel eines kürzeren oder längeren Stammes entspringen, wie beispielsweise bei den Grassäumen (S. 109), s. die Tafel „Grassäume mit Bogenblättern und Cyperuswald (Australien)“ (S. 109). Sehr auffallend sind die Bogenblätter der Gräser, welche im Grund und am Grunde der Wälder sowie an steilen Berglehnen ihren Standort haben, wie z. B. bei *Molinia effusum*, *Melica altissima*, *Calamagrostis Hellesiana*, *Brachypodium silvaticum*, *Avena flavescens* und *Triticum caninum*. Auch die von den Halmen ausgehenden Blätter der auf den Feldern kultivierten Roggräser, beispielsweise die des Hafers und des Maises (*Avena sativa* und *Zea Mais*), sind als Bogenblätter anzusehen. Kommt der Wind auf die Blätter dieser Pflanzen ein, so werden die Bogen, die sie bilden, bald erweitert, je nachdem der Wind von der einen oder der Seite herkommt. Bei mäßiger Luft nimmt ein solches Blatt die Form einer mehr oder weniger gebogenen, sich nach unten öffnenden Schale an. Mag dann der Bogen bei bewegter Luft weiter oben durch den Wind, auf keinen Fall ist die dabei stattfindende Krümmung so weitgehend, als die durch die Luftbewegung herbeigeführt werden könnte. Zudem sind diese Blätter durch eine entsprechende Einlagerung von Bastfasern so zugfest gemacht, daß sie nicht leicht zerreißen können. Bei diesen Gräsern mit bogenförmig gebogenen Blättern kommt es auch vor, daß sämtliche Blätter der Halme von derselben Seite her abgewendet sind, so daß sie fast ein ähnliches gesammtes Verhalten zeigen wie jene des Schraubenblattes (s. S. 111), obwohl ihre Fächerung und die Halme nicht schraubig sind.

Eine andere Einrichtung besteht darin, daß die Blätter der Halme an der Basis der Blattspreite mit dem Stengel, von dem sie ausgehen, drehbar sind. Sie sind der Verwindung aus mehreren Gründen, besonders auffallend in *Phalaris arundinacea*, *Scilla Juncifolia* und an dem weithin verbreiteten *Phragmites communis* (s. die beige gezeichnete Tafel „Phalaris in einem Sumpf an der Donau“). Dieses letztere, welches oft in unerschöpflichen Mengen in den sumpfigen Niederungen und Talböden und an den Ufern der Flüsse anzutreffen ist, enthält eine große Anzahl von Halmen, die mit zahlreichen drehbaren Blättern versehen sind. Diese Blätter sind, wie bei den meisten Gräsern, aus der vom Stengel ausgehenden Spreite linear, ziemlich





Rohr und Riedgras in einem Sumpf an der Donau in Ungarn.

Nach Aquarell von Anton v. Kerner.

aus der Scheide von der Gestalt eines Hohlzylinders, der den Halm eng umschließt, und aus dem man das betreffende Halmstück wie aus einer Röhre herausziehen kann. Solange die Halme und Blätter noch nicht vollständig ausgewachsen sind, erscheinen die Blattspreiten steif aufgerichtet dem Halme parallel, später senken sie sich, stehen wagerecht ab und werden schließlich sogar etwas geneigt, so daß sie mit der Spitze gegen den Boden sehen. Sie bleiben dabei flach und sind so steif, daß sie durch schwache Luftströmungen nicht gebogen werden. Auch wenn ein stärkerer Anstoß des Windes erfolgt, verbiegen sie sich nicht, wohl aber drehen sie sich wie die Windfahnen am Dachgiebel nach jener Richtung hin, wohin der Wind weht, also in den sogenannten Windschatten. Das ist nur dadurch möglich, daß sowohl der Halm als auch die ihn umschließende röhrenförmige Blattscheide an der Reibungsfläche sehr glatt sind, und daß die Blattscheide um den Stengel leicht beweglich ist.

In der Tat findet man diese Ausbildung bei den genannten rohrartigen Gräsern, und es ist bei ihnen auch noch durch ein an der Grenze von Blattspreite und Blattscheide angebrachtes Häutchen dagegen Vorjorge getroffen, daß nicht etwa Regenwasser in die Scheide eindringt, die Reibung vermehrt und die Drehung erschwert. Die aus Tausenden von beblätterten Halmen des gewöhnlichen Rohres (*Phragmites communis*) zusammengesetzten Bestände erhalten infolge der hier beschriebenen Einrichtung jedesmal, wenn ein Wind über das Rohrfeld weht, ein eigentümliches Aussehen. Kommt der Wind von Osten, so sind alle Blätter nach Westen gerichtet, kommt er von Westen, so sind sie mit ihren Spitzen dem Osten zugewendet. Der ganze Bestand sieht aus, als wäre er gekämmt worden, als hätte man alle Blattspreiten wie die Haare einer Mähne in die Richtung des Windschattens hingestrichen. Selbstverständlich kommen diese Einrichtungen, die der Beschädigung durch Windstöße entgegenarbeiten sollen, den Pflanzen auch als Schutz gegen den Anprall heftiger Regengüsse oder Hagelfälle zustatten.

In der Tiefe stehender Gewässer, im Grunde von Tümpeln, Teichen und Seen findet eine Änderung der von den ausgewachsenen Pflanzen angenommenen Lage infolge eines äußeren Anstoßes nur selten statt, und wenn schon einmal durch vorübergehende Wassertiere Strömungen und Wirbel in der Flut und weiterhin Schwankungen der Wasserpflanzen entstehen, so geht das rasch vorüber; die ins Schwanken gekommenen Teile kehren, ohne Nachteil erfahren zu haben, alsbald in ihre frühere Stellung zurück. An Wasserpflanzen sind besondere Einrichtungen zur Festigung der einzelnen Teile, vor allem Einrichtungen, welche dahin abzielen, die grünen Gewebe vor dem Zerreißen und dem Zerknicktwerden zu schützen, nicht vorhanden. Es genügt eine geringe Festigkeit und Elastizität der Zellhäute, um dem Stoß und Zug und den Druckkräften, die sich in der Wassertiefe geltend machen, zu widerstehen und die gelegentlich einmal verschobenen grünen Teile wieder in die richtige Lage zu bringen. Feste Holzzellen und Stränge aus elastischen Bastzellen, welche in den von Luft umspülten Pflanzenteilen eine so wichtige Rolle spielen, fehlen. Sie sind hier überflüssig. Weder im Meere noch im süßen Wasser wachsen Holzpflanzen. Daher fallen infolge des Mangels von Holz und Bast die Wasserpflanzen, wenn man sie aus der Tiefe herauszieht und an die Luft bringt, rasch zusammen, ihre Blätter knicken durch ihre eigene Schwere ein und sinken schlaff auf die Unterlage hin. Daß sie sich im Wasser aufrecht erhalten, hängt davon ab, daß ein Teil ihrer Gewebe von luftgefüllten, verhältnismäßig sehr großen Räumen durchzogen ist, wodurch ihr Gewicht im Vergleiche zu dem des Wassers sehr verringert wird. Wären die Wasserpflanzen nicht in dem Sand und

Schlamm oder an den Felsen unter Wasser festgewachsen, so würden sie zur Oberfläche hinaufkommen und auf dieser schwimmen. Da sie aber in der Tiefe festgehalten und gleichsam verankert sind, bewirken die luftgefüllten Räume innerhalb des grünen Gewebes der Blattspreiten oder der Stiele, von denen die Blattspreiten getragen werden, daß sich diese Organe aufrechtstehend und gleichsam schwebend im Wasser erhalten.

Pflanzen, die im strömenden Wasser wachsen, und solche, welche dem Anlaufe der Wellen am Strand ausgesetzt sind, werden schon auf eine härtere Probe in betreff ihrer Festigkeit und Zähigkeit gestellt. So manche unter ihnen, wie die langblättrigen Laichkräuter in den raschfließenden Gebirgsbächen, die Wasserranunkeln in Flüssen, strecken sich, durch die Strömungen gezogen, in deren Richtung. Die merkwürdigen Podostemazeen in den Sturzwellen der Wasserfälle tropischer Gegenden werden sogar ununterbrochen hin und her geschwenkt und erschüttert, und es muß daher diesen Verhältnissen des Standortes auch durch ihren Bau gebührend Rechnung getragen sein. Das Gewebe solcher Pflanzen ist auch viel zäher als jenes der Armleuchtergewächse, der Najadazeen, der dreiteiligen Wasserlinse, der Tausendblattarten und verschiedener anderer, die in der Tiefe stiller Wassertümpel ein ruhiges Leben führen. Es ist nicht gebrechlich, sondern elastisch biegsam. Besonders sind viele der braunen Tange, die der Brandung widerstehen müssen, obwohl sie keine verholzten Gewebe besitzen, sondern nur aus einer weichen, quellbaren Zellmasse bestehen, außerordentlich fest gebaut. Sie haben ganz das Ansehen von Riemen und Bändern, die aus Leder geschnitten sind. Manche dieser Tange kommen zur Zeit der Ebbe regelmäßig aufs Trockene; sie knicken aber dabei nicht ein, selbst dann nicht, wenn das Wasser sich rasch zurückzieht, sondern legen sich mit ihren biegsamen, blattähnlichen Flächen platt auf den vom Wasser verlassenen Boden an. Wenn dann die Flut kommt, werden sie allmählich emporgehoben und nehmen in dem unspülenden Gewässer wieder eine aufrechte Lage ein, was bei manchen Tangen noch wesentlich dadurch begünstigt wird, daß blasenförmig aufgetriebene Hohlräume, förmliche Schwimmblasen, in ihrem Gewebe eingeschaltet sind. Die Laminarien, welche bei Helgoland große Wiesen unter der Wasserfläche bilden, haben ganz unzerreißbare Stengel. Sie werden wohl von der Brandung in ganzen Wagenladungen, oft samt den Steinen, auf denen sie mit ihren Haftwurzeln aufsitzen, herausgeworfen, aber ihre lederartigen Stengel reißen auch beim heftigsten Wogenprall nicht ab. Die Lithothamnien und Korallinen (s. die Tafel bei S. 90) erlangen durch Einlagerung von Kalk in die Zellhaut eine erhöhte Widerstandsfähigkeit gegen die anlaufenden Wellen, und wieder andere, namentlich die Hilbenrandtien, Zanardinia und andere, schmiegen sich mit ihrer ganzen Fläche den Felsriffen und Steinen des Küstensaumes an, so daß sie sich wie farbige Flecke auf denselben ausnehmen und eine Zerknickung oder ein Hin- und Herschwenken durch den Wogeneschwall völlig ausgeschlossen ist.

Ähnlich diesen Wasserpflanzen verhalten sich auch viele Sumpfpflanzen, welche nur teilweise und oft nur zeitweilig unter Wasser stehen, deren auf dem Wasser schwimmende Laubblätter aber zur Hälfte von Wasser, zur Hälfte von Luft umgeben werden, oder deren Blattflächen auch ganz über den Wasserspiegel emporgehoben sind. Die Änderung des Wasserstandes führt wohl eine höhere oder tiefere Lage, eine Hebung und Senkung der schwimmenden Blätter herbei, aber diese vollzieht sich ohne die geringste Zerrung der betreffenden Teile. Die Stengel sowie die Stiele der Blätter, die von einem im Grunde des Wassers eingewurzelten Stock ausgehen, gleichen alle langen Stricken und Fäden, die infolge

des Luftgehaltes nach oben streben und die verhältnismäßig große und daher für das Schwimmen gut ausgerüstete Blattscheiben tragen, wie z. B. bei unseren Seerosen, *Nymphaea alba* und *Nuphar luteum*. Beim höchsten Wasserstande stehen die schwimmenden Blattscheiben in lotrechter Linie über dem in der Tiefe eingewurzelten Stocke, dem sie angehören; sinkt das Wasser, so senken sich mit ihm auch die auf seinem Spiegel schwimmenden Blattscheiben, indem sie gleichzeitig auseinander rücken. Die Stiele und Stengel, die von einem Stocke ausgehen, machen dann ungefähr dieselbe Bewegung durch, wie die Stäbe eines Sonnenschirmes, den man mit seiner Spitze in den Boden gesteckt und dann geöffnet hat. Sobald der Wasserstand wieder zunimmt, findet selbstverständlich die umgekehrte Bewegung statt. Manche Sumpfpflanzen, wie z. B. die Wassernuß (*Trapa*), besitzen in den schwimmenden Teilen ihrer Blätter auch luftgefüllte Blasen, welche dieselbe Bedeutung wie die der Lunge haben. Schwimmende Wasserpflanzen haben häufig zweierlei grüne Laubblätter: untergetauchte, die ganz so ausgebildet sind wie jene der Wasserpflanzen, und schwimmende, welche an der unteren Seite mit dem Wasser, an der oberen mit der Luft in Berührung stehen und unter Umständen ohne Nachteil auch ganz von Luft umspült sein können. So finden wir bei dem hübschen, weißblühenden Wasserhahnenfuß, *Batrachium aquatile*, zweierlei Blätter, fein zerschlitze unter dem Wasser, die dem gedämpften Lichte viel Oberfläche bieten und gleichzeitig dem Wasserstrom wenig Widerstand leisten, und nierenförmige Schwimmblätter, die imstande sind, die Blütenstiele über Wasser zu halten. In ausgetrockneten Sümpfen würden lange, dünne Stengel und Blattstiele nichts weniger als vorteilhaft sein, die meterlangen Blattstiele einer Seerose würden ihre Blattscheiben nicht aufrecht zu tragen vermögen, sondern umfallen und einknicken. Auch auf den Boden hingestreckt wären solche lange, strickförmige Blattstiele nicht von Vorteil. Man sieht nun, daß solche Sumpfpflanzen sich sofort verändern, wenn das Wasser sich zurückgezogen hat. Die neuentwickelten Blätter haben nur noch kurze Stiele, und diese sind dann so fest und elastisch geworden, daß sie die Blattscheiben gut zu tragen und in der für sie günstigsten Lage gegen das Licht zu erhalten imstande sind. Man nennt solche Pflanzen, die das Wasserleben aufgeben und sich unter Veränderung ihrer Form dem Landleben anpassen können, amphibische Pflanzen (vgl. S. 67). An dem amphibischen Knöterich (*Polygonum amphibium*) sieht man sehr gut, daß die langen Stengel der Wasservarietät, die an ihrem oberen Ende eine Gruppe schwimmender Blätter tragen, viel schlaffer sind als die kurzen Stengel der Landvarietät, welche von unten bis oben gleichmäßig mit Blättern besetzt sind.

3. Die Schutzmittel der grünen Blätter gegen die Angriffe der Tiere.

Die chlorophyllführenden Gewebe, als Bildungsstätten für Kohlehydrate und stickstoffhaltige Verbindungen, enthalten die wichtigste Nahrung der auf Pflanzenkost angewiesenen Tiere. Sie sind demzufolge auch den Angriffen dieser Tiere allenthalben ausgesetzt. Da aber die chlorophyllführenden Gewebe auch für die wachsende Pflanze selbst unentbehrlich sind und ihr gänzlicher Verlust eine schwere Schädigung, ja selbst das Absterben der betreffenden Pflanzen zur Folge hätte, so ergibt sich zwischen Tier- und Pflanzenwelt ein gewisser Gegensatz, und es macht den Eindruck, daß sich Tiere und Pflanzen feindlich

gegenüberstehen. Indessen ist diese Feindschaft doch nicht immer so schroff, wie es den Anschein hat. Bisweilen findet nicht nur keine Feindschaft, sondern sogar ein recht einträchtiges Zusammenleben von Tieren und Pflanzen statt, bei dem beide Teile ihre Rechnung finden, wie das bei der Bestäubung der Blüten durch Insekten so wunderbar der Fall ist; aber selbst dort, wo der beiderseitige Vorteil nicht so klar am Tage liegt, läßt sich nicht immer behaupten, daß die Angriffe der Tierwelt einen ersichtlichen Nachteil bringen. Bekanntlich gibt es Pflanzenarten, deren Laub die ausschließliche Nahrung gewisser Insekten bildet, so zwar, daß die genannten Tiere Hungers sterben müßten, wenn ihnen das Laub, auf welches sie angewiesen sind, gänzlich entzogen wäre. So ist z. B. eine Salbeiart (*Salvia pratensis*) die ausschließliche Nährpflanze des Käfers *Cassida Austriaca*. Durch die Larven dieses Käfers werden oft zahlreiche Löcher in die Blätter gefressen; dennoch wird hierdurch die Entwicklung der Blüten, Früchte und Samen nicht beeinträchtigt. Ähnlich verhält es sich mit den Beziehungen zwischen dem Tagpfauenauge (*Vanessa Io*) und der Nessel (*Urtica dioica*), dem Oleanderschwärmer (*Sphinx Nerii*) und dem Oleander (*Nerium Oleander*), dem Wolfsmilchschwärmer (*Sphinx Euphorbiae*) und der Wolfsmilch (*Euphorbia Cyparissias*) usw. Im Hinblick auf solche Vorkommnisse könnte man sogar der Mutmaßung Raum geben, daß dergleichen Pflanzen von den auf ihnen lebenden Tieren irgendeinen, vorläufig freilich noch unbekanntem Vorteil haben. Tatsache ist, daß Gewächse, auf welche bestimmte Tiere in betreff ihrer Ernährung und Erhaltung ausschließlich angewiesen sind, einen Teil ihrer grünen Gewebe preisgeben können, ohne dadurch in ihrem Fortbestand ernstlich gefährdet zu sein, und daß in solchen Fällen besondere Schutzmittel der grünen Gewebe gegen die angreifenden Tiere nicht ausgebildet sind.

Anderes verhält es sich freilich, wenn Tiere in Frage kommen, die bei dem Suchen nach Nahrung eine Auswahl unter den Pflanzen zu treffen nicht genötigt sind, sondern alles, was ihnen in den Weg kommt, abfressen, wenn solche Viel- und Allesfresser die verschiedensten Pflanzenarten schonungslos angreifen und in blinder Eier mit Stumpf und Stiel vernichten. Die Tiere vermögen nicht gleich dem Menschen bei der Ausnutzung der Nahrungsmittel vorauszu sehen, daß die Gewächse, wenn sie aller grünen Organe beraubt werden, zugrunde gehen müssen, und daß es dann in den folgenden Jahren an der Nahrung für sie selbst und für ihre Nachkommen fehlen wird. Wenn der Mensch den zu seinem Lebensunterhalte dienenden Gewächsen einen Teil entnimmt, so ist dieser Ausbeutung doch immer eine Grenze gezogen, die in kluger Überlegung und Voraussicht nicht überschritten wird. Er belästigt der Pflanze gerade noch so viel, als notwendig ist, damit sie sich erhalten und vermehren kann; ja, er sucht selbst die Ernährung, das Wachstum und die Vermehrung der ihm nützlichen Gewächse zu unterstützen und zu fördern und gibt sich alle erdenkliche Mühe, seine Nutzpflanzen gegen die zu weit gehenden Angriffe von Tieren zu sichern und zu schützen. Dieser vom Menschen ausgehende Schutz beschränkt sich aber nur auf einen verhältnismäßig kleinen Teil der Pflanzenarten; alle diejenigen, von denen er keinen Vorteil zieht, bleiben unberücksichtigt, und diese würden dem überwältigenden Anstrome der weidenden Tiere und der schließlichen Vernichtung preisgegeben sein, wenn ihnen nicht selbst Mittel zu Gebote ständen, mit denen sie sich zu schützen und zu erhalten vermöchten. Allerdings sind diese Mittel nicht zum Angriff auf die Tierwelt geeignet, und es ist das Verhältnis, in dem sich die Pflanzenwelt den Tieren gegenüber befindet, nicht als ein Krieg, sondern als ein bewaffneter Friede aufzufassen.

Wenn aber den Pflanzen auch nur Verteidigungsmittel zur Abwehr zu Gebote stehen, so sind diese darum für die Angreifer nicht weniger gefährlich, und es kommen nicht nur den Stichwaffen vergleichbare Ausrüstungen, sondern auch Gifte und ägende Flüssigkeiten reichlich zur Anwendung. Ob diese oder jene Schutzmittel vorhanden sind, hängt von sehr verschiedenen Umständen, besonders aber von der Form, Eigenart und Ernährungsweise des Angreifers ab. Begreiflicherweise werden allesfressende Raupen, Käferlarven, Heuschrecken, Asseln, Schnecken, Vögel, Mager und sonstige Säugetiere sich sehr verschieden verhalten und dementsprechend auch die Schutzmittel eine große Verschiedenheit zeigen.

Was zunächst die Gifte anlangt, so darf man hier nicht nur an jene Stoffe denken, welche selbst in äußerst geringer Menge in den Körper gebracht, das Leben des Menschen in Gefahr bringen, sondern es sind noch viele andere chemische Verbindungen gemeint, durch welche die auf Pflanzenkost angewiesenen Tiere erfahrungsgemäß gefährdet werden, und die mit den auf den menschlichen Organismus giftig wirkenden Stoffen nur teilweise zusammenfallen. Übrigens zeigen auch die pflanzenfressenden Tiere unter sich in dieser Beziehung ein verschiedenes Verhalten. Es kann die eine Tierart infolge des Genusses eines bestimmten Stoffes den Tod erleiden, während eine andere durch denselben Stoff nicht benachteiligt wird. Unsere Stubensiegen gehen zugrunde, wenn sie von dem Fliegenpilz genascht haben, während die Nachtschnecken den genannten Pilz abfressen, ohne den geringsten Schaden zu erleiden. Das in den Blättern der Tollkirsche enthaltene Atropin wirkt auf die Wiederkäufer giftig, während die an Atropin reichen frischen Blätter der *Atropa Belladonna* die ausschließliche Nahrung des kleinen Käfers *Epitrix Atropae* bilden, und Amseln und Drosseln die atropinhaltigen Tollkirschen ohne Nachteil verzehren. Diese und viele andere Erfahrungen haben zu der Ansicht geführt, daß es spezifische Gifte gibt, d. h. daß das eine Tier durch diesen, das andere durch jenen in den lebenden Pflanzen erzeugten Stoff, wenn er mit der Nahrung in den Körper gelangt, vergiftet wird, daß aber derselbe Stoff für andere Tiere ganz unschädlich sein kann. Was die Untersuchungen in dieser Beziehung ergeben haben, ist zwar noch recht lückenhaft, aber es ist doch so viel daraus zu ersehen, daß nicht nur die zahlreichen Alkaloide, sondern auch Amygdalin, ätherische Öle, Bitterstoffe, Gerbsäuren, Knoblauchöl, Kumin, Saponin, Milchsäfte, saure Säfte usw. als spezifische Gifte wirksam sein können.

Für die hier in Rede stehende Frage ist es nun von Wichtigkeit, festzustellen, daß die Tiere sich vor dem Genuß der ihnen schädlichen Stoffe sorgfältig in acht nehmen, daß sie es vermeiden, die betreffenden Pflanzen abzufressen, wodurch die Gifte zu Schutzmitteln des grünen Gewebes dieser Pflanzen werden. In vielen Fällen ist es allerdings rätselhaft, wie die Tiere die ihnen nachteiligen Stoffe in den Pflanzen wahrnehmen, und zwar noch bevor sie dieselben angefressen haben. Wenn der Stechapfel, das Wilsenkraut, der gefleckte Schierling, die Osterluzei, der Altich und der Sadebaum nicht berührt werden, weil sie Riechstoffe enthalten, die auf die Geruchsorgane des Menschen und wahrscheinlich auch der weidenden Tiere einen widerlichen Eindruck machen, so darf das nicht wundernehmen; aber viele Arten, wie namentlich der Eisenhut, die schwarze Nieswurz, der Germer, die Zeitlose, der Seidelbast, tragen Blätter, die im unverletzten Zustande geruchlos sind und doch von den Rindern, Pferden, Schafen, Hirschen, Rehen, Gemsen, Hasen, ja selbst von den genäschtigen Ziegen gemieden und verabscheut werden. Man muß in solchen Fällen entweder annehmen, daß die in dem grünen Gewebe

enthaltenen Gifte, wenn sie auch auf die Geruchsnerven des Menschen keinen Eindruck machen, doch von den genannten Tieren gerochen oder gewittert werden, oder daß der Abscheu, den gewisse Tiere gegen einzelne ihnen schädliche Pflanzen haben, vererbt ist. Wenn nun tatsächlich viele Pflanzen durch von ihnen erzeugte Stoffe einen Schutz vor Tierfraß genießen, so ist es immer bedenklich, diese Substanzen kurzerhand als Schutzstoffe zu bezeichnen mit der Voraussetzung, daß die Pflanzen diese Stoffe erzeugten, um sich zu schützen. Das ist schwer anzunehmen, denn zunächst sind diese Stoffe Produkte, welche beim Stoffwechsel der betreffenden Pflanzen und dessen chemischem Verlauf entstehen müssen. Natürlich kann man sich nicht vorstellen, daß Pflanzen den Chemismus ihres Stoffwechsels auf den Angriff von Tieren hin in der entsprechenden Weise geändert hätten, denn es muß sich diese Schutzeinrichtung, wie jede andere, einmal entwickelt haben. So ist die Ansicht von den Schutzstoffen theoretisch noch wenig klar, und man muß sich mit beobachteten Einzelfakten begnügen, ohne eine zufriedenstellende Erklärung geben zu können.

Ein den Giften sich anreihendes Schutzmittel des grünen Gewebes gegen das Abgefressenwerden durch Tiere bilden die Raphiden. Man versteht unter Raphiden lang zugespitzte, nadelförmige und spießige, meistens zu Bündeln vereinigte Kristalle aus oxalsaurem Kalk, welche in bestimmten Zellen der Pflanzen abgelagert sind. Mit diesen Raphiden regelmäßig verbunden, findet sich Schleim, der bei Wasserzufuhr stark anschwillt, ohne doch die Zelloberfläche zum Platzen zu bringen. Dieser Umstand macht es erklärlich, daß Pflanzengewebe, in deren Zellen Raphiden enthalten sind, mitunter abgefressen werden können, ohne daß die abfressenden Tiere die Gefährlichkeit dieser Nahrung sofort erkennen. Erst beim Kaueinsetzen und Zerquetschen der Zellen tritt die Wirkung der Raphiden hervor. Die nicht mehr von Zelloberflächen umschlossenen Kristallnadeln bohren sich dann in der Umgebung der Kauwerkzeuge im Mund und auch im Verdauungskanal ein und veranlassen dort ein heftiges, stechendes Schmerzgefühl. Kaninchen, die man raphidenführende Blätter unversehens anbeißen sah, machten kurz danach vergebliche Anstrengungen, sich des Mundinhalts zu entledigen, und als sie infolge des Genusses solcher Blätter verendeten, wurde ein heftiger Katarrh in ihrem Dünndarm als Todesursache nachgewiesen. Solche Fälle gehören allerdings zu den Ausnahmen; denn die Mehrzahl der Tiere vermeidet mit Sorgfalt solche Pflanzenteile, welche Raphiden führen. So werden von den Schnecken und Heuschrecken, den meisten Wiederkäuern und Nagetieren Gewebe, welche Raphiden enthalten, verabscheut, was zu der Annahme veranlaßt, die Raphiden als Schutzmittel der grünen Gewebe gegen das Abgefressenwerden durch Tiere anzusehen. Besonders reich an Raphiden sind die Blätter des Weinstockes, der Sternfräuter (*Asperula*, *Galium*), der Dnagrazeeen (*Circaea*, *Epilobium*, *Oenothera*) und vor allen jene der Monokotyledonen, namentlich der Aroideen, Amaryllidaceen, Kolchikaceen, Liliaceen, Orchideen, Smilacaceen und Typhaceen. Übrigens verhält es sich mit den Raphiden ähnlich wie mit den Giften. Es gibt nämlich auch Tiere, namentlich Vögel, welche gegen die Wirkung der Raphiden wenig oder gar nicht empfindlich sind, und von den Raupen einiger Schmetterlinge, z. B. *Sphinx Galii* und *Alpenor*, ist es sogar bekannt, daß ihre ausschließliche Nahrung aus raphidenreichen, grünen Blättern besteht.

In einigen Fällen wird der Schutz gegen die Angriffe weibender Tiere durch die Ausbildung einer sehr dicken Kutikula und Einlagerung von Kieselsäure in die Zelloberflächen hergestellt. Die immergrünen, starren Blätter der Bärentraube, Preiselbeere und Kauschbeere, des Sinngrüns und Efeus sowie zahlreicher Proteazeen, Epakrideen,

Dyfpodiazeen usw. werden von den nahrungsuchenden Tieren in auffallender Weise gemieden. In dem einen oder anderen Falle mag hierbei wohl der Gehalt an anderen Stoffen, namentlich Gerbsäuren, eine Rolle spielen, aber die Hauptursache liegt augenscheinlich in den mächtigen, unverdaulichen Kutikularschichten, welche den Tieren nicht zusagen. Dasselbe gilt von dem grünen Gewebe der Schachtelhalme, bei denen die Zellhäute förmlich verkiegelt sind. Die Bestände von Schachtelhalmen werden von den weidenden Kindern, Schafen und Ziegen niemals berührt. Auch die Blätter mehrerer Binjen, Gräser und Niedgräser, deren Kutikularschichten große Mengen von Kieselsäure eingelagert enthalten, werden von diesen Tieren gemieden. Freilich nicht nur wegen der Kieselsäure selbst, sondern weil die Blätter von ihnen dadurch zum Teil scharf und schneidend sind, wie schon mancher Leser erfahren haben wird. Aus der Reihe der zuletzt genannten verdienen insbesondere folgende Arten hervorgehoben zu werden. Zuerst *Nardus stricta*, ein in dichten Rasen wachsendes Gras, das auf manchen Weideplätzen in den Alpen den Hauptbestandteil der Grasnarbe bildet und mit Rücksicht auf seine starren, borstenförmigen Blätter den deutschen Namen Borstengras erhalten hat. Die weidenden Rinder erfassen den Grund der Rasen dieses Grases mit den Zähnen, reißen sie aus dem Boden, lassen dieselben aber alsbald wieder fallen, weil ihnen die borstenförmigen Blätter und Halme allzu spröde sind. Die fallengelassenen Rasen verdorren dann nach kurzer Zeit, und man sieht nicht selten Tausende durch die Rinder entwurzelte, vertrocknete und an der Sonne gebleichte Rasen dieses Grases auf den Weideplätzen liegen. Die von den Hirten gehegte Meinung, daß die Tiere das Ausrupfen und Ausrotten des Borstengrases mit einer Art Überlegung ausführen, um sich auf diese Weise ihre Weidegründe zu verbessern, ist abzulehnen, indes kann man doch annehmen, daß die Rasen des Borstengrases nicht nur wegen ihrer Ungenießbarkeit, sondern vorzüglich darum von den weidenden Tieren entfernt werden, um dadurch des Genußes der anderen, zwischen den Borstengrasrasen sprießenden nahrhaften Pflanzen teilhaftig werden zu können, ohne dabei Gefahr zu laufen, sich mit den Spitzen der starren Borstengrasblätter das Maul zu verletzen.

In den südlichen Alpen, namentlich im Gebiete des Monte Baldo, sowie in den gegenüberliegenden Bergen im Hintergrunde von Vallarja findet sich ein Gras, *Festuca alpestris*, dessen nach allen Seiten abstehende Blätter nicht nur unverdauliche Bastzellen als eine besondere Schicht (s. Abbildung, S. 257, Fig. 4 u. 5), sondern auch reichlich Kieselsäure enthalten, insolgedessen sich starr anfühlen und überdies noch in eine feste, stechende Spitze auslaufen. Dieses Gras ist nun das bestgehaßte Gewächs der ganzen Gegend, und die Hirten suchen es überall, wo es in größerer Menge auftritt, durch Abbrennen zu vertilgen, da die weidenden Tiere beim Auffuchen anderer zwischen den Rasen der *Festuca alpestris* wachsender Pflanzen, oder wenn sie vom Hunger getrieben die Rasen selbst abstreifen, sich die Näster so sehr zerstechen, daß sie häufig ganz blutrünstig vom Weidegange zurückkommen. Ähnlich verhält es sich auch mit der in den spanischen Gebirgen vorkommenden *Festuca indigesta* und der im Taurus heimischen *Festuca punctoria* (s. Abbildung, S. 259, Fig. 1—3). Bei den Hirten in jenen Gebirgsgegenden, wo die zuletzt genannten Gräser heimisch sind, ist auch die Meinung verbreitet, daß diese Gräser giftig sind, was darauf zurückzuführen ist, daß weidende Tiere, welche der Hunger veranlaßt, die Blätter und Halme abzufressen, bald danach infolge von Entzündungen des Magens zugrunde gingen. Diese Entzündungen waren aber gewiß nicht durch ein Gift veranlaßt, sondern die Folge einer mechanischen

Reizung von seiten der verschluckten Blattstücke, welche, im gefalteten oder zusammengerollten Zustand abgeweidet, sich im Saft des Vormagens ausrollten und dort mit ihren verkieselten scharfen Rändern und Spitzen in die Schleimhaut einbohrten.

Die zuletzt besprochenen Schutzmittel der Blätter und überhaupt des grünen Gewebes gegen die Angriffe nahrungsuchender Tiere bilden den Übergang zu den Waffen der Pflanzen. In der botanischen Kunstsprache werden diese Waffen als Dornen und Stacheln unterschieden. Als Dorn (*spina*) bezeichnet man ein Gebilde, das der Hauptmasse nach aus einem Holzkörper gebildet wird oder doch von Gefäßbündeln im Inneren durchzogen ist, die aus dem Holzkörper ihren Ursprung nehmen, und das dann in eine harte, stechende Spitze ausläuft. Stachel (*aculeus*) nennt man dagegen ein Gebilde, das aus der Haut oder Rinde eines Pflanzenteiles entsteht, im Inneren keine Gefäßbündel enthält, im übrigen mehrzellig oder einzellig sein kann, immer aber mit einer Spitze endigt, welche die Haut des Angreifers zu verletzen imstande ist. Diese Unterscheidung ist nicht immer leicht durchzuführen und wurde auch von den Botanikern niemals vollkommen durchgeführt.

Dornen und Stacheln können aus allen möglichen Gliedern und Teilen der Pflanze entstehen und in allen Stockwerken derselben auftreten. Am häufigsten stehen sie dicht vor oder neben dem zu schützenden Gewebe. Vielsach ist aber auch schon der Zugang zu den grünen Teilen, der über Blattstiele, Stengel und mitunter auch über Luftwurzeln führt, mit Stacheln und Dornen versehen, damit dadurch die von untenher aufkriechenden, auf Pflanzenkost angewiesenen Tiere abgehalten werden. So z. B. trifft man bei der Palmengattung *Acanthorhiza* die Luftwurzeln, die vom unteren Teile des Stammes ausgehen, bei mehreren *Bombax* und *Pandanus* sowie bei vielen *Erythrina*, *Gleditschia* und *Rosa* die unteren Teile der holzigen Stämme und bei zahlreichen Fächer- und Fiederpalmen die Blattstiele und Blattstcheiden mit einer Fülle von Stacheln und Dornen besetzt.

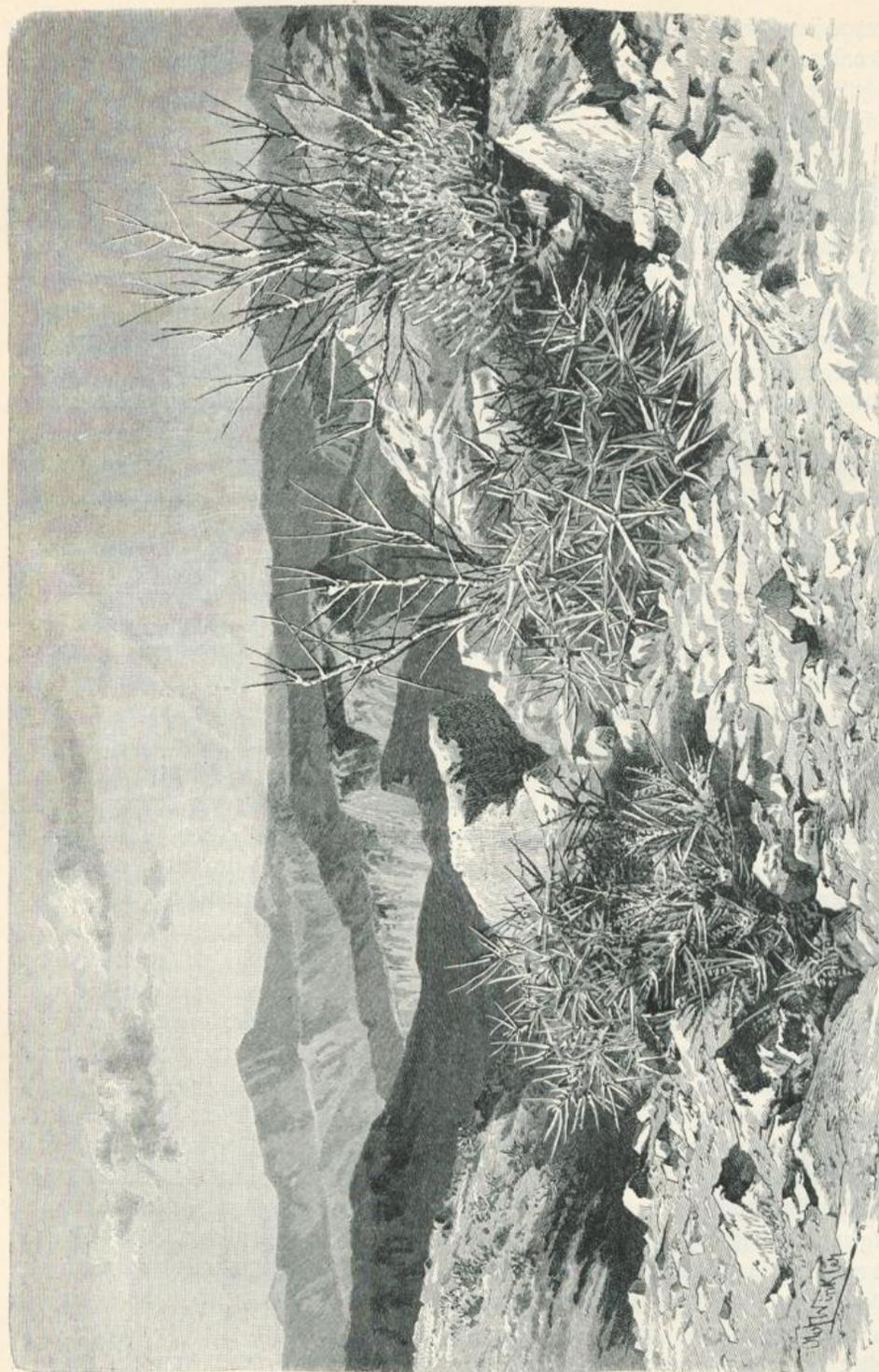
Die Größe, Richtung, Stellung und Verteilung der Waffen richtet sich nach der Art des Angriffes, nach der Form und Größe der nahrungsuchenden Tiere und nach der Gestalt der den Angreifern zur Verfügung stehenden Werkzeuge. Die riesigen, auf dem Wasser schwimmenden Blätter der *Victoria regia* sind nur auf der unteren Seite und am aufgebogenen Rand, also nur dort, wo sie den Angriffen pflanzenfressender Wassertiere ausgesetzt sind, mit Stacheln bewaffnet. Interessant ist auch die Tatsache, daß manche Holzgewächse nur im jugendlichen Zustande, nur so lange, als sie niedrig sind und ihr Laub von den Wiederkäuern, namentlich von Ziegen, Schafen und Kindern, erreicht werden kann, bewehrt erscheinen, daß sie aber an jenen Ästen, Zweigen und Blättern, welche dem Maule der Tiere entriekt sind, keine Stacheln und Dornen entwickeln. Die jungen niederen, nur 1 oder 2 m hohen Bäumchen des wilden Birnbaumes starren von den Dornen, in die sich die Enden der holzigen Zweige umwandeln, während die Zweige in den Kronen der zu 4 und 5 m Höhe herangewachsenen Bäume dornelos bleiben. An der Stechpalme (*Ilex Aquifolium*) kann man sehen, daß die Blätter, welche die Zweige in der Krone hochstämmiger Bäume schmücken, fast ganzrandig und unbewehrt sind, während der Rand der Blätter an den strauchartigen Exemplaren in sparrig abstehende stechende Zähne ausgezogen ist.

Mit Rücksicht auf das Verteidigungssystem könnte man die mit Waffen zur Abwehr der Tiere ausgestatteten Pflanzen in zwei Gruppen zusammenstellen, von denen die eine jene Formen umfaßt, die ihr grünes Gewebe durch Organe schützen, welche an dem betreffenden Pflanzengliede selbst zur Ausbildung kommen, während die zweite

Gruppe jene Formen begreift, denen eine solche Selbsthilfe fremd ist, wo vielmehr ein Glied das andere schützt, und wo die Teilung der Arbeit dahin geführt hat, daß einzelne des Chlorophylls entbehrende, in Waffen umgewandelte Teile der Pflanzen den Schutz nachbarlicher unbewehrter Chlorophyllreicher Glieder übernehmen.

In die erste Abteilung gehören zunächst die meisten jener laublosen Pflanzen, welche das grüne Gewebe in der Rinde ihrer Äste und Zweige entwickelt haben. Freilich ist das grüne Gewebe dieser Gewächse in der Regel so fest und starr, daß man glauben möchte, es werde kaum jemals Tiere zur Nahrung anlocken. Aber „der Hunger ist ein strenger Herr“, und im Notfalle werden, wie die Erfahrung zeigt, selbst steife, rutenförmige Sträucher der mittelländischen und anderen Floren angegriffen. Um nun diesen Angriffen nicht ganz zu erliegen, sind viele der laublosen, grünzweigigen Pflanzen entsprechend gewappnet, und zwar dadurch, daß die Enden ihrer grünen Zweige in Dornen auslaufen, welche den Angreifern entgegenstarren. Ja, manche dieser Gewächse sind eigentlich ganz und gar aus vielverzweigten grünen Dornen aufgebaut, was ihnen ein sehr eigentümliches Ansehen verleiht. Der Mäusedorn *Ruscus aculeatus* (s. Abbildung, S. 249, Fig. 3 u. 4), die dornigen Spargel (*Asparagus horridus* usw.), die südamerikanische *Colletia cruciata* (s. Abbildung, S. 250, Fig. 1) und die südafrikanische *Acanthosicyos horrida* (s. Abbildung, S. 423, Fig. 1) können hierfür als Beispiele gelten.

Weit mannigfaltiger als das Rüstzeug, mit dem die grünen Stengel ausgestattet sind, erscheinen die Waffen, welche sich an den grünen Blättern ausgebildet haben. Zum Teil gehen die den Angreifer verletzenden Spitzen aus den Endigungen der Rippen und Stränge hervor, die das Grundgerüst der Blätter bilden und über das grüne Gewebe des Laubes wie Nadeln hinausragen, zum Teil sind es Zellen und Zellgruppen, welche aus der Haut des grünen Blattes ihren Ursprung nehmen und sich bald von der Fläche, bald vom Rande wie kleine Dolche erheben. Im ersteren Falle sind die Gefäßbündel, welche man als Rippen im Blatte verlaufen sieht, dort, wo sie über das grüne Gewebe vorragen und als Dornen endigen, mit einem Belege sehr fester Zellen versehen, im letzteren Falle zeigen die von der Haut ausgehenden und als Stacheln, spitze Borsten und stechende Haare sich erhebenden Zellen und Zellgruppen verdickte und stark verkieselte Wandungen. An mehreren Nadelhölzern, vielen Gräsern, Seggen und Binzen, an den Arten der Gattung *Yucca*, an mehreren nelkenartigen Gewächsen (*Drypis* und *Acanthophyllum*), an den Stachelrazen (*Acantholimon*) aus der Familie der Plumbagineen, ebenso an einigen Salzkräutern und Fettpflanzen (*Umbilicus spinosus*, *Sempervivum acuminatum*) tritt besonders häufig folgende Ausrüstung hervor. Die grünen Blätter sind zahlreich, meist in einen Rasen zusammengedrängt, stehen nach allen Richtungen der Windrose von der Achse ab, sind starr, ungeteilt, lineal, stielrund oder dreikantig und endigen in einen scharfen, festen, stechenden Dorn. Man könnte diese Form das Nadelblatt nennen. In vielen Fällen haben solche Blätter wenigstens ganz die Gestalt von Nadeln und werden in Gegenden, wo man sich der unveränderten Naturprodukte noch mit Vorliebe zu Werkzeugen und Gerätschaften bedient, im ausgetrockneten Zustande geradezu als Nadeln verwendet. Ein ansehnlicher Teil der Pflanzen mit nadelartigen, stechenden Blättern bewohnt die durch große Trockenheit des Sommers ausgezeichneten Steppen, insbesondere die Hochsteppen Persiens, und bildet dort sogar einen bemerkenswerten Zug in dem Landschaftsbilde. Vor allen gilt dies von den zahlreichen Arten der Gattung Stachelrazen (*Acantholimon*), von denen eine mit dornigen



Stadefrajen und bornige Zegantfränder auf der Hochsteppe bei Persopolis in Perffien. (Zu S 121.)

Traganthsträuchern untermischte, von Stapf nach der Natur gezeichnete Gruppe auf S. 120 dargestellt ist. Riesigen Seeigeln ähnlich, welche am Meeresgrunde ausgestreut liegen, leben diese in halbkugeligen Rasen wachsenden Pflanzen auf dem mit kleinen Steinchen bedeckten Boden der Hochsteppe und sind durch ihre von den Stämmchen allseitig abstehenden nadelförmigen Blätter so gut geschützt, daß sie niemals, weder von den Gazellen noch von anderen dort weidenden Tieren, abgefressen werden.

An die Nadelform der Laubblätter reiht sich jene an, die man am besten mit dem Fortsage des Schwertfisches vergleichen könnte. Im Umrisse sind die Blätter, welche dieser Form angehören, lineal oder lineal-lanzettlich, meist sind sie sehr verlängert, manchmal auch etwas bogig nach außen gekrümmt. Viele von ihnen sind verdickt und fleischig, aber dabei nach außen doch sehr fest und starr. Die mit den Endigungen von Gefäßbündeln ausgerüsteten Spitzen entspringen von beiden Rändern des Blattes und stehen in der Mehrzahl der Fälle senkrecht zum Rande, seltener sind sie nach vorn gerichtet. Entweder endigt jedes Blatt in einen kräftigen, spitzen Stachel, wie bei den Agaven, oder in einen Büschel von Fasern, wie bei Bonapartea und Dasylyrion. Die Zähne an den Blättern der zuletzt genannten Gewächse erinnern in Gestalt, Glanz und Farbe am meisten an die Zähne der Haiische und können, wenn man mit ihnen in etwas zu intime Berührung kommt, furchtbare Wunden schlagen. Besonders reich an Pflanzen mit derartig bewehrten Blättern ist das mexikanische Hochland; dort ist besonders die Heimat der Dasylyrion- und Bonapartea-Arten sowie der Agaven und Bromeliazeeen, von welcher letzteren eine Art, nämlich *Aechmea paniculata*, auf S. 122 abgebildet ist. Auch das Kapland beherbergt eine Reihe hierher gehöriger Formen, namentlich aus der Gattung Aloë. Die Manneßtreuarten mit agavenartigen Blättern (*Eryngium bromeliaefolium*, *pandanifolium* usw.) gehören Mexiko und dem südlichen Brasilien an. Merkwürdigerweise besitzen auch mehrere Wasserpflanzen, wie namentlich die Wasserchere (*Stratiotes aloides*), solche mit Stacheln bewehrte Blätter und sind durch diese Einrichtung gegen die Angriffe pflanzenfressender Wassertiere leidlich gut gesichert.

Eine dritte, mit Dornen bewehrte Form des Laubblattes ist jene der Disteln. Es ist hier das Wort Distel im weitesten Sinne und durchaus nicht auf die Arten der Gattungen *Carduus* und *Cirsium* (s. Abbildung, S. 123) eingeschränkt zu nehmen. Man bezeichnet nämlich als Distelblätter alle diejenigen, welche mehr oder weniger gelappt, geteilt und zerschnitten sind und am Rande und an den Enden der Lappen, Zipfel und Abschnitte mit starren, stechenden und abstehenden Stacheln besetzt erscheinen. Solche Blätter aber zeigen neben zahlreichen Korbblietlern aus den Gattungen *Carduus*, *Cirsium*, *Chamaepeuce*, *Onopordon*, *Carlina*, *Echinops*, *Kentrophyllum*, *Carduncellus* insbesondere mehrere Doldenpflanzen (z. B. *Eryngium amethystinum*, *Echinophora spinosa*, *Cachrys spinosa*), einige Nachtschattengewächse (z. B. *Solanum argenteum*, *pyracanthos*, *rigescens*), mehrere Zyfaeden (*Zamia*, *Encephalartus*) und in besonders stattlicher Entwicklung mehrere *Acanthus*, von denen eine Art, der im mittelländischen Florengebiete verbreitete *Acanthus spinosissimus*, auf S. 124 abgebildet ist. Nirgends in der ganzen Welt ist das Distelblatt so zahlreich und in so mannigfacher Abwechslung der Formen vertreten wie in der Mittelmeerflora, und in dieser sind wieder Spanien und Griechenland, Kreta und Algerien als besonders mit Disteln bedachte Gebiete hervorzuheben. Oft erscheinen Distelblätter drei-, vier-, fünf-, sechs- oder siebenfach geteilt und in zahlreiche Abschnitte, Zipfel und Lappen gespalten. Wenn dann die Enden aller einzelnen Teile in starre Spitzen umgewandelt sind, so bleibt von dem grünen Gewebe



Aechmea paniculata (nach Baillon). (Zu S. 121.)

des Blattes nicht mehr viel übrig; man sieht nur noch ein schmales, kleines, grünes Mittelfeld, von dem gelbe und weiße Dornen nach allen Seiten als lange und kurze Spieße wegstarren.

Die stacheligen Gebilde, welche nicht als umgebildete Endigungen der Blattrippen anzusehen sind, sondern aus der Haut der grünen Blätter ihren Ursprung nehmen, sind



Distelgruppe (*Cirsium nemorale*). (Zu S. 121.)

bald mehrzellig, bald einzellig; erstere werden vom Standpunkte der botanischen Kunstsprache als Stacheln (*aculei*), letztere als Borsten (*setae*) bezeichnet. Eine scharfe Grenze zu ziehen, ist aber auch hier unmöglich, so wenig als es gelingt, die mehrzelligen Stacheln mit Sicherheit von jenen Dornen zu unterscheiden, die zwar dem Ende eines Gefäßbündels entsprechen, aber fast nur aus festen, dickwandigen Zellen bestehen, die dem Ende des Gefäßbündels auf- und angelagert sind. Als besonders hervorhebenswert wären aus dieser Reihe von Waffen zunächst die Widerhäkchen zu nennen. Diese werden aus schiefen,

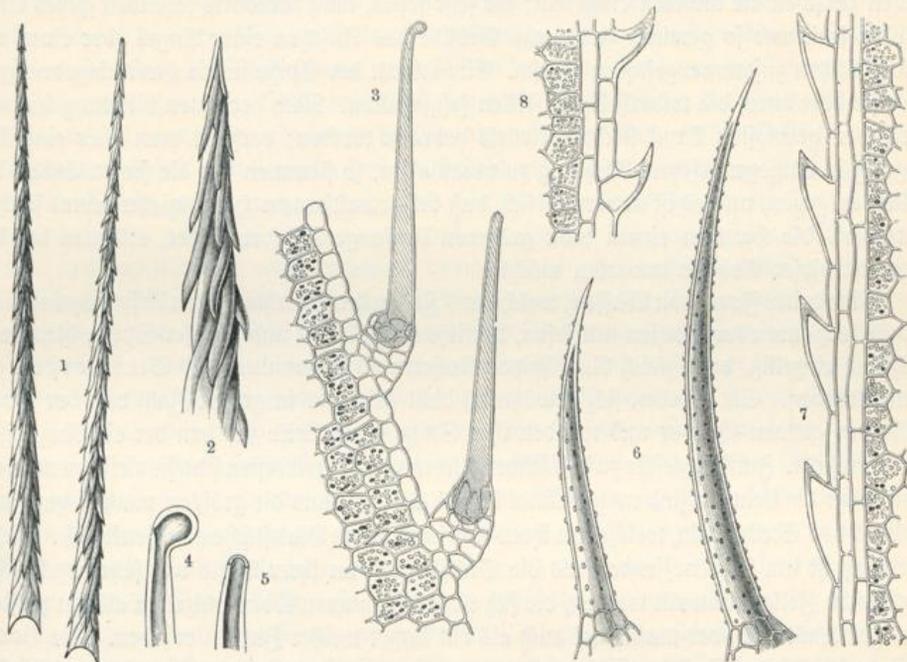
kegelförmigen Zellen gebildet, welche über den Rand des von ihnen bekleideten Blattes vorragen und dort mit einer verkieselten, sehr festen, meistens etwas gekrümmten Spitze endigen (s. Abbildung, S. 125, Fig. 7 u. 8). Die Blätter, deren Rand ganz dicht mit diesen Zellen besetzt sind, machen unter dem Mikroskop den Eindruck einer Säge, was insofern bemerkenswert ist, als solche Blätter unter Umständen auch wirklich wie Sägen wirken können, scharf und schneidig sind und dementsprechend in der botanischen Kunstsprache auch den Namen *scharfe*



Acanthus spinosissimus. (Zu S. 121).

Blätter (*folia scabra*) erhalten haben. Berührt man dergleichen Blätter nur ganz leicht von jener Seite her, gegen welche die Spitzen hinstarren, so schneiden sie allerdings nicht sofort in die berührende Hand ein, aber sie krümmen sich auch nicht, sondern bilden einen festen Widerpart, und bei zunehmendem Drucke der Hand wird das Blatt, dessen Rand sie besäumen, gebogen. Da auch dieses gut ausgesteift ist, erfährt die drückende Hand einen Widerstand, den man an dem scheinbar so zarten Blatte gar nicht erwarten möchte. Wenn ein mit abgerissenen Stücken solcher Blätter belegter Körper geschüttelt wird, so bewegen sich die Blattstücke immer nur entgegengesetzt der Richtung, der die Spitzen der Widerhäkchen zugewendet sind. Eine Bewegung nach der anderen Seite ist unmöglich, weil sich eben die

Spitzen der Widerhäkchen entgegenstemmen. Gelangen solche Blattstücke in das Maul der Wiederkäuer, so können sie dort leicht nach einer Seite und in einer Weise vorrücken, wie es der Absicht des weidenden Tieres nicht entspricht und auch durchaus nicht willkommen ist. Wenn die Tiere Raubbewegungen ausführen, entstehen nicht selten Verletzungen und Blutungen der Schleimhaut. Auch dann, wenn man mit der Hand über den Rand eines solchen scharfen Blattes kräftig hinstreift, wird eine blutende Schnittwunde veranlaßt, indem die verkieselten, den Blattrand besetzenden Spitzen ganz wie die Zähne einer sehr feinen Säge wirken. Solche Schnittwunden in die Haut werden nicht nur dann, wenn man von der



Waffen der Pflanzen: 1 Angelborsten von *Opuntia Rafinesquii*, 25fach vergrößert, 2 oberes Stück einer solchen Angelborste, 180fach vergrößert; 3 Durchschnitt durch ein mit Brennborsten besetztes Blattstück der großen Nessel (*Urtica dioica*), 85fach vergrößert, 4 köpfchenförmiges Ende einer solchen Brennborste, 150fach vergrößert, 5 das köpfchenförmige Ende abgebrochen, 150fach vergrößert; 6 Stachborsten von dem Ratterkopf *Echinops italicum*, 40fach vergrößert; 7 mit Widerhäkchen besetzter Rand eines scharfen Blattes von dem Niedgras *Carex stricta*, 200fach vergrößert; 8 mit Widerhäkchen besetzter Rand eines scharfen Blattes von dem Grafe *Festuca arundinacea*, 180fach vergrößert. (Zu S. 124—127.)

Spitze des Blattes gegen die Basis mit der Hand hinstreift, sondern auch, wenn die umgekehrte Richtung eingeschlagen wird, veranlaßt. Daß weidende Tiere solche scharfe Blätter scheuen und das unerwünschte Vorrücken derselben in der Mundhöhle ebenso wie die leicht möglichen Verletzungen vermeiden, ist begreiflich. Man sieht auch, daß sie die Niedgräser (z. B. *Carex stricta* und *C. acuta*) sowie Gräser mit besonders scharfrandigen Blättern (z. B. *Agropyrum repens*) nur selten und nur bei großem Hunger als Nahrung annehmen.

Noch weit bössartiger als die Widerhäkchen der scharfen Blätter sind die Angelborsten (s. obenstehende Abbildung, Fig. 1 und 2), die allerdings an den Pflanzen nur selten und fast nur an den Zweigen der später (S. 242) noch zu behandelnden Opuntien vorkommen. Sie finden sich immer in der Umgebung der Knospen, welche sich über dem grünen Gewebe der Opuntien oder Feigenkaktusse als feinborstige Warzen erheben. Wenn man eine solche Stelle

noch so leise berührt, so bleiben doch in der Haut der zurückgezogenen Hand sicherlich kleine, steife Börstchen stecken, die auch sogleich ein sehr unangenehmes juckendes Gefühl hervorbringen. Will man diese feinen, braunen Börstchen wegstreifen, so macht man die Sache nur noch schlimmer; denn sie dringen dann noch viel tiefer in die Haut ein und können dort, wie jeder fremde Körper, heftige Schmerzen, Rötung und rotlaufartige Anschwellungen veranlassen. Befieht man eines dieser Börstchen unter dem Mikroskop, so wird sofort klar, wie dies alles vor sich geht. Jede Borste wird aus zahlreichen starren, in Schraubelinien geordneten, spindelförmigen Zellen zusammengesetzt. Mit dem vorderen Ende ist jede dieser Zellen zwischen die anderen eingefeilt; ihr sehr festes, nach rückwärts sehendes spitzes Ende ist aber frei, und so gewinnt das ganze Gebilde das Ansehen einer Angel oder einer aus Widerhäkchen zusammengesetzten Borste. Einmal mit der Spitze in die Haut eingedrungen, wird sie dort durch die widerhakigen Zellen festgehalten. Nach der einen Richtung kann sie durch den geringsten Druck leicht vorwärts gebracht werden; versucht man aber eine Bewegung in entgegengesetzter Richtung zu veranlassen, so stemmen sich die freien Enden der Zellen entgegen, und es ist unvermeidlich, daß bei gewaltsamem Herausziehen eines solchen Börstchens die Haut in einem weit größeren Umfange Schaden leidet, als man bei der Kleinheit dieser Gebilde erwarten möchte.

Eine dritte Form von Waffen, welche aus Zellen der Oberhaut ihren Ursprung nehmen, sind steife Haare oder Borsten mit fester, vertiefter Zellhaut und scharfer Spitze, die, wenn auch nur einzellig, doch gleich Nadelspitzen stechen und verwunden und Stechborsten genannt werden. Sie erheben sich gewöhnlich dicht gedrängt in großer Zahl von der Oberfläche der grünen Blätter und wenden ihre Spitze jener Seite zu, von der ein Angriff zu erwarten steht. Im Vergleiche zu den Widerhäkchen und Angelborsten sind sie riesig zu nennen, denn selbst die kleinsten sind noch vielmal länger als jene, und die größten machen ganz den Eindruck von Stechnadeln, welche mit ihren Köpfchen in die Blattfläche eingesenkt sind. Dieser Vergleich ist um so zutreffender, als die Stechborsten an ihrer Basis von sehr regelmäßig geordneten Zellen umwallt werden, die sich über die anderen Oberhautzellen als ein polsterförmiges Knötchen oder manchmal auch als ein kurzer weißer Zapfen erheben. Die Borste selbst, welche diesem Sockel aufsitzt, wird nur aus einer einzigen Zelle gebildet, die, vollständig ausgewachsen, ihren Plasmainhalt verliert und luftgefüllt ist. Die Wand dieser verlängerten Zelle ist durch Einlagerung von Kieselsäure gehärtet und meistens durch kleine Knötchen ungleichmäßig verdickt (s. Abbildung, S. 125, Fig. 6). Obschon Stechborsten in zahlreichen Abteilungen des Pflanzenreiches entwickelt sind, so ist doch eine Familie ganz besonders mit ihnen gewappnet. Es ist das die Familie der Asperifolien oder Raubblättler, die ja mit Rücksicht auf ihr eigentümliches Rüstzeug auch diesen Namen erhalten hat. Besonders die Arten der Gattung Ratterkopf (*Echium*), von welcher die auf S. 125 abgebildeten Stechborsten entnommen sind, weiterhin die Gattungen Lotwurz (*Onosma*), Beinwell (*Symphytum*), Borretsch (*Borago*) bieten für die geschilderte Ausrüstung Beispiele in Hülle und Fülle.

Ein sehr eigentümlicher Schutz gegen die Angriffe größerer pflanzenfressender Tiere wird an dem Laube der Nesseln, Loasazeen, Hydroleazeen und Euphorbiazeen durch die Ausbildung von Brennhaaren oder Brennborsten hergestellt. Diese Brennborsten sind ähnlich wie die Stechborsten der Asperifolien aus einzelnen großen Zellen gebildet, die nach unten kolbenförmig erweitert, nach oben lang ausgezogen sind. Das äußerste freie Ende ist nur bei der zu den Hydroleazeen gehörigen *Wigandia urens* fein zugespitzt, bei den

Arten der Gattung *Jatropha*, bei den *Loasazeen* und den *Nesseln* ist das äußerste Ende köpfchenförmig angeschwollen und dieses Köpfchen seitwärts gebogen. An der knieförmigen Beugungsstelle ist die Zellohaut der Brennborste (s. Abbildung, S. 125, Fig. 3, 4 und 5) ungemein dünn, so daß die leiseste Berührung genügt, ein Abbrechen des Köpfchens zu veranlassen. Dadurch, daß das Abbrechen des Köpfchens in schräger Linie erfolgt, wird eine sehr scharfe Spitze geschaffen, und die durch das Abbrechen gebildete Öffnung ist schräg-seitlich gestellt, so daß das abgebrochene Ende dem Giftzahne einer Schlange oder der Einstichkanüle, welche von den Ärzten zu Einspritzungen unter die Haut benutzt wird, sehr ähnlich sieht. Das Abbrechen wird, abgesehen von der außerordentlichen Dünne der Zellohaut unter dem Köpfchen, auch durch die Sprödigkeit der Borste bedingt. Diese aber hat ihren Grund in der Verkieselung, zum Teil in der Verkalkung und bei *Jatropha* in der Verholzung der Zellohaut. Doch beschränkt sich diese Veränderung der Zellohaut nur auf den oberen Teil der Borste. In der zwiebel förmigen Anschwellung an der Basis ist die Zellohaut weder verkieselt noch verkalkt, sondern besteht aus unverändertem Zellstoff, gibt auch einem Drucke von außen nach, so daß durch einen solchen Druck das Ausfließen des Zellinhaltes befördert wird. Ist durch einen Druck von obenher das spröde Ende der Borste gesplittert und das Köpfchen abgebrochen, so dringt die an der Bruchstelle gebildete Spitze in den drückenden Körper ein, vorausgesetzt, daß dieser weich ist, wie z. B. die Haut des Menschen und der Tiere, und der Inhalt wird in die gebildete Wunde ergossen. Im flüssigen Inhalte der Brennborste findet sich neben Ameisensäure eine Substanz, welche zu den ungeformten Fermenten oder Enzymen gehört, und diese letztere ist es, welche die heftige Entzündung in der Umgebung der durch den Stich gebildeten Wunde veranlaßt. Das sofort nach dem Stich entstehende schmerzhaftes Gefühl, welches der Volksmund wegen seiner Ähnlichkeit mit jenem, das durch eine Verbrennung erzeugt wird, als Brennen bezeichnet, schrieb man früher der Ameisensäure im Zellsaft zu; aber eine Reihe von anderen Erscheinungen, welche man nach dem Stiche beobachtet, kann nur auf Rechnung eines als Gift wirkenden Enzymes gebracht werden. Wenn dicht nebeneinander zahlreiche Brennborsten in die Haut eingedrungen sind, so entstehen Rötungen im weiten Umfange, rotlaufähnliche Anschwellungen und die heftigsten Schmerzen. Schon die in Europa einheimischen Nesseln, namentlich *Urtica dioica* und *Urtica urens*, bringen unangenehmes Jucken und Brennen hervor, durch die javanische *Urtica stimulans*, ebenso durch die in Indien heimische *Urtica crenulata* und die auf Timor vorkommende *Urtica urentissima* können sogar die heftigsten Zufälle, Starrkrämpfe, sogar Todesfälle, ähnlich wie durch Schlangenbiß, veranlaßt werden. Überhaupt ist eine Analogie zwischen den Brennborsten und den hohlen Giftzähnen der Schlangen nicht zu verkennen.

Der Gewebekörper, in dem die Brennborste eingesenkt ist, besteht aus chlorophyllhaltigen Zellen, ist elastisch, biegsam und wirkt bei der Berührung der Borste wie der Gummiball eines Zerstäubers. Wenn man von der Seite her auf eine Brennborste drückt, so legt sie sich der Blattfläche an, ohne daß die Spitze in die Haut des drückenden Fingers eindringt. Läßt der Druck nach, so hebt sich die Borste infolge der Elastizität ihres knötchenförmigen Widerlagers wieder in die Höhe und richtet ihre brüchige Spitze nach auswärts. Hierauf beruht das Kunststück, daß man über die Nesseln mit der Hand streifen kann, ohne sich dabei zu brennen. Faßt man nämlich mit einer Hand den untersten, unbewehrten Teil einer beblätterten, großen Nessel, deren Laub mit unzähligen abstehenden Brennborsten besetzt ist, und fährt nun mit der anderen Hand von unten nach oben über das Laub hin, so werden die dadurch berührten

Borsten an die Blattflächen angedrückt, ohne zu verwunden. Berührt man dagegen dieselbe Nessel von obenher, so brechen sofort die Köpfschen der Borsten ab, die röhrenförmigen Spitzen dringen in die berührende Haut und ergießen ihre giftige Flüssigkeit. Weidende Tiere weichen den mit Brennborsten versehenen Pflanzen sorgfältig aus und lassen sich ihre Nüstern oder ihre Mundschleimhaut durch die ätzende Flüssigkeit nicht vergiften. Gegen größere Tiere, welche beim Abweiden von Pflanzen nicht nur die Blätter, sondern auch die krautigen Stengel vertilgen und bei öfterer Wiederholung ihrer weitgehenden Angriffe die Pflanzenstöcke zum Absterben bringen würden, ist daher die Nessel gut geschützt. Von den Raupen der *Vanessa Urticae* wird ihr Laub freilich trotz der Brennhaare abgefressen, aber diese Schädigung beschränkt sich nur auf einen Teil der Blätter; aus den unberührten Stengeln und Knospen können sich immer noch neue, beblätterte Sprosse entwickeln, und die Nesselstaude geht daher infolge des Angriffes der Raupen nicht ganz zugrunde.

Es ist hier der geeignetste Platz, auch noch einer Form der Pflanzenhaare zu gedenken, deren Zellen zwar keine starren, verkieselten Wandungen besitzen, und die daher auch nicht stechen und verletzen, aber doch verhindern, daß die von ihnen bekleideten Pflanzen durch weidende Tiere Schaden leiden, und insofern auch als Schutzmittel des grünen Gewebes angesehen werden müssen. Diese Haarbildungen werden später ausführlicher besprochen bei den Schutzmitteln gegen zu weitgehender Transpiration der Blätter. Hier soll nur einer besonders auffallenden Form gedacht werden, welche den filzigen Überzug so vieler Arten der Gattung Königsferze (*Verbascum*) bilden. Diese strahlenförmig verästelten, an kleine Tannenbäumchen erinnernden Haare (s. Abbildung, S. 237, Fig. 1) lösen sich von der Oberhaut der Blätter, aus der sie hervorgegangen sind, sehr leicht los, und es genügt ein geringer Druck der darüberstreichenden Hand, um zahlreiche Flocken dieses Haarfilzes abzuheben. Obschon nun die Zellen, aus denen sich die Haare des Blattfilzes aufbauen, nicht starr und stechend sind und sich nicht in die Haut einbohren, so bleiben sie doch infolge ihres eigentümlichen Baues sehr leicht an den kleinsten Unebenheiten der berührenden Körper hängen. Wenn weidende Tiere ihre Mundschleimhaut mit den Blättern solcher Königsferzen in Berührung bringen, so wird diese Schleimhaut sofort mit Flocken aus abgestoßenem Filzhaare bedeckt, die sich in die Falten der Mundhöhle festsetzen und dort gewiß ein nichts weniger als angenehmes Gefühl hervorbringen. Auf diesem eigentümlichen Verhalten der Filzhaare der Königsferzen zur Schleimhaut beruht ja auch die Vorsicht, die wir Menschenkinder bei der Zubereitung des Himmelbrandtees in Anwendung bringen. Von der Königsferze, welche auch den Volksnamen Himmelbrand führt, werden nämlich die Blüten seit uralter Zeit zur Bereitung eines Tees gebraucht. Wenn man nun die Blüten, die an der Rückseite gerade so wie die Laubblätter mit einem feinen Haarfilz überzogen sind, mit heißem Wasser übergießt, so lösen sich Teile des Haarfilzes ab und erhalten sich schwimmend in dem gebildeten Aufgusse. Versäumt man, den Aufguss durch ein Stück Leinen zu seihen und auf diese Weise die schwimmenden Härchen zu entfernen, so kann es leicht geschehen, daß sich beim Trinken der Flüssigkeit einige Haargruppen an die Schleimhaut der Mundhöhle anlegen, was dann ein unausstehliches Kratzen und Jucken hervorbringt. Dieses unangenehme Gefühl, das sich bei Tieren, welche Königsferzenblätter in den Mund bringen, gewiß noch viel mehr geltend macht als bei uns, wenn wir ungeseiheten Himmelbrandtee trinken, hält die Tiere ohne Zweifel ab, das Laub der in Rede stehenden Gewächse abzufressen. Von den zuletzt aufgezählten Schutzmitteln des grünen Gewebes sind mehrere, namentlich

die Angelborsten, die Brennborsten und der ablösbare Haarfilz, auch insofern sehr merkwürdig, als deren unangenehme Eigenschaften den angreifenden Tieren nicht schon vor dem Angriff bekannt sein können. Andere unheilbringende Stoffe in dem grünen Gewebe können gewittert werden, und die Abneigung gegen die Riechstoffe, welche den Blättern der Farne, des Stechapfels, des Sumpfsportels, des gesleckten Schierlings usw. eigen sind, mag sich bei den Tieren vererben; die Stacheln, Dornen und Stechborsten, deren Spitzen über die grünen Gewebe vorragen und den Angreifern drohend entgegenstarren, sind leicht sichtbar, und selbst die dümmsten Tiere weichen solchen Schutzwehren immer aus. Es ist aber nicht denkbar, daß nahrungsuchende Tiere die winzigen Angelborsten der Opuntien sehen, und ebensowenig ist anzunehmen, daß die Tiere diese starren und geruchslosen Gebilde durch den Geruchssinn wahrnehmen. Es ist daher wahrscheinlich, daß die mit ablösbarem Wollfilz, mit Angelborsten und Brennborsten ausgerüsteten Pflanzen von den Tieren erst dann verschont werden, nachdem sie schon bei einem früheren Angriffe die unangenehme Bekanntschaft dieser Schutzmittel gemacht haben und durch den Schaden klug geworden sind. Daraus aber würde sich auch ergeben, daß bei den Tieren die Erblichkeit der Antipathie gegen ihnen nachteilige oder gefährliche Pflanzen nur beschränkt ist, und daß die auf Pflanzenkost angewiesenen Tiere einen Teil der ihnen nachteiligen Gewächse immer erst durch die Erfahrung kennen zu lernen in der Lage sind.

Auch riechende ätherische Öle, die von den Drüsenhaaren auf den Blättern und Stengeln vieler Labiaten ausgeschieden werden, können Tiere abschrecken, die Pflanze zu fressen, obwohl sich nicht immer behaupten läßt, daß selbst unangenehme Gerüche auf sie abstoßend wirken. So ist die Vorliebe der Katzen für den uns keineswegs lieblich duftenden Baldrian bekannt. Doch dürften so widerliche Gerüche, wie sie *Chenopodium vulvaria* ausduftet, als Abschreckungsmittel wirken. Daß Gifte allgemein als Schutzstoffe anzusehen seien, muß ebenfalls zweifelhaft erscheinen. In Oldenburg fressen die Schafe den dort massenhaft wachsenden und geduldeten Besenginster; er enthält ein giftiges Alkaloid, welches auf die Schafe berauschend wirkt; trotzdem wird die Pflanze immer wieder gefressen.

Die laublosen Gewächse mit spitzen, stechenden grünen Ästen und Flachsprossen, die Pflanzen mit nadelartigem, scharf gefägtem und distelartigem Laube sowie jene, deren grüne Blätter und Stengel mit Widerhäkchen, Angelborsten, Stechborsten, Brennborsten und mit ablösbarem Haarfilz bekleidet sind, gehören mit Rücksicht auf ihr Rüstzeug jener Gruppe von Formen an, deren Schutzmittel unmittelbar aus dem Gewebe des zu schützenden Pflanzenteils hervorgehen, wo sich also das grüne Gewebe sozusagen selbst gegen die Angriffe pflanzenfressender Tiere wehrt und schützt. Wie schon erwähnt, kann man dieser einen Gruppe eine zweite gegenüberstellen, deren Waffen nicht an dem zu schützenden, sondern an einem benachbarten anderen Pflanzenteil angebracht sind. In diese zweite Gruppe gehören zunächst jene Formen, deren völlig wehrlose grüne Laubblätter durch die in Dornen umgewandelten verholzenden Seitentriebe vor den zu weit gehenden Angriffen der Tiere gesichert werden. Der Stengel und die Zweige dieser Pflanzen sind nicht ganz bis zu ihrer Spitze beblättert; die Enden sind vielmehr blattlos und sehen aus, als ob man von ihnen die Laubblätter abgerissen hätte. Wenn überhaupt Anlagen von Blättern auch an den Gipfeln der Zweige vorhanden waren, so sind diese verkümmert, klein, nur durch Schuppen und Schwielen angedeutet und alles eher, als eine begehrenswerte Nahrung. Dafür ist das Ende des holzigen Zweiges zugespitzt und läuft

in einen starren, stechenden Dorn aus. An einem Busche, dessen nach allen Richtungen hin abstehende Zweige mit blattlosen Spitzen endigen, während die grünen Laubblätter hinter den Spitzen versammelt sind, ist ein auf Teilung der Arbeit beruhendes Verteidigungssystem in aller Form hergestellt. Die grünen Laubblätter können im Schutze der Dornen unbeirrt die ihnen zukommende Arbeit leisten, und wenn es auch ab und zu einmal vorkommt, daß ein nahrungsuchendes größeres Tier, mag es durch Naschhaftigkeit verleitet oder durch Hunger getrieben sein, zwischen den entgegenstarrenden Dornen das Maul sorgfältig einführt und einige grüne, hinter den Dornen stehende Laubblätter sich zu verschaffen weiß, so ist darum noch lange nicht die Existenz eines solchen Busches bedroht. Die Alhagigebüsch der Steppe sowie mehrere Ginster- und Geißfleesträucher, namentlich *Alhagi Kirgisorum*, *Genista horrida* und *Cytisus spinosus* (s. Abbildung, S. 133, Fig. 5), zeigen die eben beschriebene Schutzvorrichtung in ausgezeichnete Weise. An vielen anderen Sträuchern, wie dem Schlehdorn, Sanddorn, Kreuzdorn (*Prunus spinosa*, *Hippophaë rhamnoides*, *Rhamnus saxatilis*), ist wohl dieselbe Einrichtung getroffen, aber sie hat nur zu der Zeit, wenn die Laubblätter noch ganz jung sind, ihre volle Bedeutung. Nur solange die zarten, eben erst aus den Knospen hervorgegangenen Laubblätter von den dornigen Zweigen überragt werden, sind sie gegen das Abgefressenwerden gesichert; späterhin, wenn sie ausgewachsen sind, werden nur noch jene geschützt, welche die Basis der dornigen Zweige bekleiden. An den Langtrieben des Weißdornes entwickeln sich in den Achseln seiner unteren Laubblätter dicht nebeneinander je ein langer Dorn und eine kleine Knospe, in den Achseln der oberen Blätter nur eine Knospe allein. Im nächsten Jahre werden aus den hart neben den langen, glänzend braunen Dornen angelegten Knospen Kurztriebe, die auch häufig Blüten tragen; aus den Knospen an der oberen Hälfte des Sprosses aber entsteht ein Langtrieb, welcher die eben geschilderte Entwicklung wiederholt. Die Dornen, welche an den amerikanischen Weißdornarten: *Crataegus coccinea* 4 cm, *rotundifolia* 6 cm und *C. Crus galli* 7—8 cm lang werden, nehmen sich dann wie Wächter aus, welche den entstehenden Kurztrieb zu schützen haben. Da die meisten dieser Sträucher sparrig abstehende Äste entwickeln und sich daher ebenso sehr in die Quere wie in die Höhe strecken, und da sich die Dornen viele Jahre hindurch erhalten, so werden durch sie auch die Blätter aller jener Triebe geschützt, welche in späteren Jahren hinter den alten Dornen gleichsam im Inneren des Busches aus den Ästen seitlich hervorsprossen. An mehreren brasilischen Mimosen ragen die den Zweigen aufsitzenden Dornen zwar nicht über die ausgebreiteten Blätter vor. Sobald aber Tiere die Blätter berühren, werden diese herabgeschlagen, bergen sich hinter der Schutzwehr der Dornen, und die Tiere weichen vor den ihnen nun entgegenstarrenden scharfen Spitzen zurück.

Ein ganz eigentümliches Verhältnis zwischen grünen Blättern und Dornen beobachtet man an den meisten jener Halbsträucher des Mittelmeergebietes, welche der alte Theophrastus unter dem Namen *Phrygana* zusammengefaßt hat, und die auch heute noch in derselben Weise bezeichnet werden. An diesen Halbsträuchern, für welche die auf S. 133, Fig. 8, abgebildete *Vella spinosa* als Beispiel gewählt sein mag, entwickelt jeder aus den Winterknospen hervordachsende Sproß an der unteren Hälfte grüne Laubblätter und über diesen, häufig auch im Bereiche des Blütenstandes, grüne, mit feiner Spitze endigende, in Dornen umgebildete Seitenzweiglein. Diese Dornen, die man in manchen Fällen, wenn sie nämlich in der Blütenregion erscheinen, auch als umgewandelte Blütenstiele auffassen kann, sind im Anbeginne weich und saftreich, enthalten in ihrer Rinde grünes Gewebe

und funktionieren zunächst ganz so, wie die neben ihnen stehenden schmalen Laubblätter. Als Schutzmittel spielen sie wegen ihrer Weichheit im ersten Jahre keine Rolle. Im Herbst fallen die grünen Laubblätter von den Sprossen ab; die Enden der in Dornen auslaufenden Zweige sind zwar auch abgestorben und abgedorrt, aber sie bleiben zurück und fallen nicht ab. Im Laufe des Sommers fest und starr geworden, verletzen sie jetzt jeden, der sie unfaßt anfaßt, und schützen natürlich auch die hinter ihren abgedorrtten Enden im nächsten Jahr aus den Seitenknospen hervorstwachsenden Triebe, welche wieder genau die eben geschilderte Entwicklung durchmachen.

So entstehen mit der Zeit struppige Büsche, von deren Peripherie eine Menge trockener, dorniger Äste wegstarren, und die vielfach den Eindruck machen, als wären ihre Zweigenden im Winter erstoren und verdorrt, und als wäre der ganze Stoß im Absterben begriffen. Dieses Phryganagestrüpp ist nicht gerade eine Zierde desjenigen Geländes, auf dem es massenhaft auftritt, es bildet aber eine höchst charakteristische Formation in gewissen Florengebieten. Besonders reich an solchem Phryganagestrüpp ist die Mittelmeerflora, und zwar sind dort Arten der verschiedensten Familien in dieser Form ausgebildet. Um nur einige Beispiele zu bringen, seien von Schotengewächsen *Vella spinosa* und *Koniga spinosa*, von Poteriazeeen *Poterium spinosum*, von Schmetterlingsblütlern *Genista Hispanica* und *Onobrychis cornuta*, von Korbblütlern *Sonchus cervicornis*, von Wolfsmilchgewächsen *Euphorbia spinosa*, von Salzkräutern *Noëa spinosissima* und von Lippenblütlern *Teucrium subspinosum* und *Stachys spinosa* hervorgehoben. Auch die Hochsteppen Südwestasiens weisen die Phryganiform auf, und zwar meist als einzelne dornstarrende, niedere Büsche, gesellig mit Stachelrajen und niederen Traganthsträuchern, bei denen der Schutz des grünen Laubes auf andere Weise hergestellt ist, die unten beschrieben werden wird. In nördlicher gelegenen Landstrichen, welche der Sommerdürre nicht ausgesetzt sind, und wo die weidenden Tiere auch im Sommer genügend grünes Futter finden, fehlt diese Pflanzenform nahezu ganz, nur in den Heiden und Nadelwäldern des mittleren und westlichen Europa ist sie durch einige Ginsterarten (*Genista Germanica* und *Genista Anglica*) vertreten.

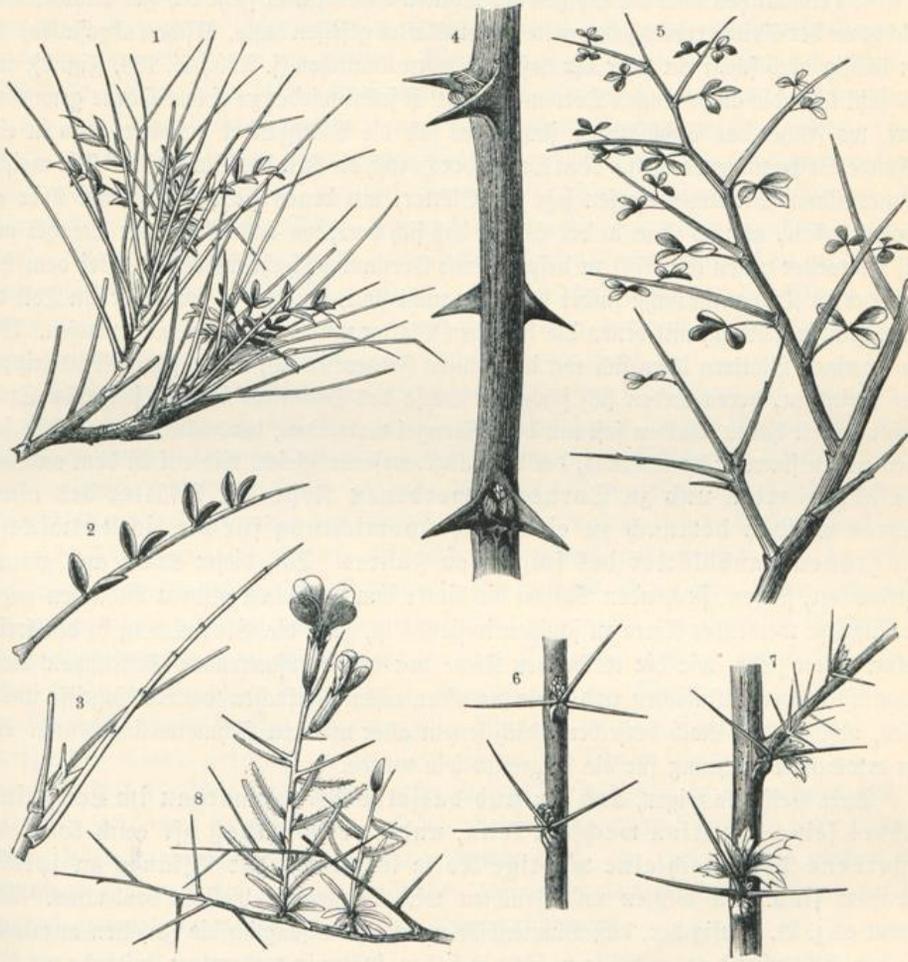
Gerade in diesem Gebiet erhalten aber gewisse Sträucher und junge Bäumchen, welche der oben geschilderten Dornenbildung entbehren, durch die weidenden Tiere selbst eine Gestalt, welche lebhaft an die Phryganiform erinnert. Das geschieht folgendermaßen. Wenn den weidenden Ziegen, Schafen und Kindern junge Bäumchen der Buche, Eiche, Lärche oder die Büsche von Heidekraut (*Calluna vulgaris*) zugänglich sind, so beißen sie von denselben aus Raschhaftigkeit, oder unter Umständen auch von Hunger getrieben, die Enden der friichen Triebe mitjamt den daran haftenden Blättern ab. Das zurückgebliebene Stück des verstümmelten Triebes vertrocknet infolgedessen in der Nähe der Wundstelle, der dahinterliegende Teil bleibt aber erhalten, und es entwickeln sich an demselben die Knospen verhältnismäßig sogar viel kräftiger, als es wohl sonst ohne Verstümmelung der Fall gewesen wäre. Den Trieben, welche im nächstfolgenden Jahr aus diesen Knospen hervorgehen, kann aber der gleiche Unfall passieren, sie können neuerdings durch das Maul der weidenden Tiere verkürzt werden, und wenn sich das alljährlich wiederholt, so gleichen die verstümmelten Buchen und Lärchen jenen Bäumchen der altfranzösischen Gärten, welche, von der Schere des Gärtners fortwährend zugeschnitten, die Form von Pyramiden und Obelisken erhalten haben. Das Gezweige solcher verstümmelter Bäumchen wird endlich so dicht, und die trockenen, festen Zweigenden an der Peripherie der Krone stehen sich dann

so nahe, daß selbst die genäsigen Ziegen abgehalten werden, diese Rüstung zu durchbrechen, und es unterlassen, sich die grünen Triebe hinter den trockenen Stämmeln hervorzuholen. So hat schließlich die an und für sich ungeschützte Pflanze eine Schutzwehr erhalten, welche sie gegen weitere Angriffe weidender Tiere vollständig sichert. Manche dieser zerbitzenen Bäumchen wachsen allerdings niemals mehr zu kräftigen, hochstämmigen Exemplaren aus, aber für einige Arten ist die geschilderte harte Behandlung, welche sie in der Jugend durchmachen, nicht von dauerndem Nachteil. Das gilt namentlich von den Lärchen- und Fichtenbäumen in den Alpentälern. Im harten Kampfe mit den Ziegen gestalten sich die Bäumchen allmählich zu einem dicht verzweigten Gestrüpp, an dem nicht einmal ein Gipfel besonders unterschieden werden kann, da auch die mittelsten Triebe, solange sie von den Ziegen mit dem Maul erreicht werden können, nicht verschont bleiben. Endlich wächst aber, wenn auch erst nach einer Reihe von Jahren, die struppige Lärche oder Fichte so sehr in die Breite und Höhe, daß die Ziegen die Gipfeltriebe nicht mehr erreichen können. Und siehe da, aus der Mitte des vielverzweigten Gestrüppes erhebt sich ein kräftiger Trieb, entwickelt einen Wirtel von Seitenzweigen, verlängert sich von Jahr zu Jahr und wird, von den weidenden Tieren nicht weiter behelligt, zu einem schönen hochstämmigen Baume. Noch lange Zeit sieht man von den untersten Teilen des Baumes die infolge der Verstämmelung vielzweigig gewordenen ältesten Seitenäste, die dem aufwachsenden Mittelstamme zu Schutz und Wehr dienten, abstehen; allmählich aber verdorren sie, fallen zerbröckelt zu Boden, und die letzte Erinnerung an die harte Jugendzeit ist abgestreift.

So bilden zweifellos Stacheln, Dornen und harte Verzweigungen einen Schutz für die Pflanzen zur Erhaltung der Arten, wenn auch in einzelnen ganz bekanten Fällen bewehrte Pflanzen angegriffen werden. Der Esel läßt sich durch die Stacheligkeit der Eselsdistel (*Onopordon Acanthium*) nicht abschrecken, und wenn auch die stacheligen Rosensträucher auf den Weiden unverehrte Büsche bilden, so werden die Brombeersträucher vom Vieh und Wild gefressen. Freilich erscheinen die Stacheln bei den letzteren auch weniger in der Bestimmung von Schutzwaffen als von Organen zum Anklammern beim Klettern dieser Sträucher. Daß alle Waffen sich bei den Pflanzen als eine Reaktion gegen die tierischen Angriffe entwickelt hätten, steht wohl am wenigsten fest, denn Experimente mit dornigen Pflanzen haben ergeben, daß die Dornenbildung ganz wesentlich von klimatischen Einflüssen abhängig ist, namentlich von der Lufttrockenheit. Bei der Kultur von Berberitzen, Weißdorn und anderen bedornen Pflanzen in sehr feuchter Luft gaben diese ihre Dornenbildung auf und wurden wehrlos, und man findet in der Tat charakteristische Genossenschaften dorniger Sträucher nur in den trockensten Gebieten unserer Erde, z. B. in Südafrika, in den australischen Strübs und in den trockenen Gegenden der Mittelmeerländer.

Anschauliche Beispiele für Schutz durch Dornen bilden alle Kakteen, deren vollsaftige Stämme in ihrer Heimat, den wasserarmen Gebieten Mexikos, der Prärie und Südamerikas, den Angriffen der dürstenden Tiere ohne ihr gefährliches Stachelkleid völlig zum Opfer fallen würden. Denn trotz der furchtbaren Dornen werden die Kakteen in der Ebene Südamerikas zur Zeit der größten Dürre von den verwilderten Eseln aufgesucht und durch Hufschläge womöglich entwurzelt, um dem saftreichen Gewebe von der unbewehrten unteren Seite aus beizukommen, oder aber die genannten Tiere suchen die Kakteen mit den Hufen zu spalten und auf diese Weise das Innere aufzuschließen, wobei es freilich häufig vorkommt, daß die Angreifer sich an den Dornen verletzen und gefährliche Wunden davontragen.

Nächst den Kakteen zeigen unstreitig die niederen, halbstrauchigen Tragan-
sträucher (Astragaleen), welche in einer unerchöpflichen Mannigfaltigkeit der Arten im
Orient auf felsigen Bergen und Hochsteppen ihre Heimat haben, die seltsamsten Dornen-
bildungen. Wir greifen aus ihrer großen Zahl eine Art, nämlich *Astragalus Tragacantha*,



Waffen der Pflanzen: 1 Zweige des Traganstrauches *Astragalus Tragacantha* im Frühling, 2 ein einzelnes Blatt dieses Tragants, von welchem die drei obersten Teilblättchen abgefallen sind, 3 Blattspindel, von welcher sämtliche Teilblättchen abgefallen sind; 4 Stück eines Schößlings der *Robinia Pseudacacia* im Frühling; 5 der dornige Geißfließ (*Cytisus spinosus*); 6 u. 7 Zweigstücke des Sauerdorns (*Berberis vulgaris*) im Frühling; 8 *Vella spinosa*, das Ende des vorjährigen Sprosses abgedorrt, die heutigen Sprosse blüentragend. (Zu S. 130—135.)

als Vorbild heraus (s. obenstehende Abbildung, Fig. 1). Betrachtet man diese Pflanze
sehr zeitig im Frühling, so sieht man an dem freien Ende eines jeden Zweiges einen Kranz
aus zahlreichen grauen, dünnen, langen Dornen, welche ihre Spitzen nach oben und aus-
wärts richten. In der Mitte des Dornenkranzes liegt als Gipfel und Abschluß des Zweiges
eine Knospe. Die Frühlingswärme bringt diese Knospe zur Entwicklung, die dicht zu-
sammengedrängten, gefiederten Laubblättchen trennen, strecken und entfalten sich; aber es

vergehen Wochen, und noch immer sind die Blättchen von dem struppigen Dornenkranz umgeben. Man sieht sie nur hinter den langen Dornen wie hinter den grauen Gitterstäben eines Käfigs grün hervorschimern. Wenn sie völlig ausgewachsen sind, und wenn sich auch das von ihnen geschmückte Ende des Zweiges etwas gestreckt hat, ragen endlich die obersten Teilblättchen über die Spitzen der Dornen hervor; aber siehe da, das Endblättchen, welches an der Spindel eines jeden gefiederten Blattes gefessen hatte, ist schon abgefallen, mit ihm häufig auch schon ein paar der tieferstehenden Blättchen (s. Abb., S. 133, Fig. 2), und was jetzt über die alten langen Dornen vorragt, ist selbst wieder zu einem Dorne geworden. Dort, wo früher das Endblättchen stand, hat sich die Blattspindel verhärtet und in eine stechende Spitze umgewandelt. Nun kommt der Herbst, die Zeit des Blattfalles. Die meisten sommergrünen Sträucher werfen jetzt die Blätter, mit denen sie den Sommer über gearbeitet haben, ab und zwar in der Weise, daß sich dort, wo das Blatt dem Stengel aufsitzt, die weiter unten (S. 277) zu besprechende Trennungsschicht ausbildet. Bei dem hier geschilderten Tragantstrauche findet das aber nicht statt, sondern es wird nur ein Teil der alten, grauen Dornen, mit denen die heurigen Blätter umkränzt waren, abgeworfen. Von den heurigen Blättern lösen sich nur die grünen Fiederchen ab, die kräftigen Mittelrippen oder Spindeln, deren Enden sich schon im Laufe des Sommers in eine stechende Spitze umgewandelt haben, bleiben fest mit dem Stengel verbunden, vertrocknen und bilden jetzt einen neuen starren Dornenkranz, der dem abgeworfenen gleich wie ein Ei dem anderen. Die abgedorrten und zu Dornen gewordenen Reste der Blätter des einen Jahres werden demnach zu einer Schutzvorrichtung für die sich entwickelnden grünen Laubblätter des folgenden Jahres. Daß dieser Kranz aus grauen, abstehenden, steifen, stechenden Spitzen die hinter ihm versteckten grünen Blättchen gegen die Angriffe weidender Tiere zu schützen imstande ist, zeigt die Beobachtung in der freien Natur. Man sieht, wie die weidenden Tiere vor den dornstarrenden Gestrüppen dieses Tragantstrauches haltmachen und schon nach den ersten Versuchen weitere Angriffe unterlassen, obgleich das Laub derselben gleich jenem aller anderen Schmetterlingsblütler eine sehr erwünschte Nahrung für die Angreifer sein würde.

Diese Beispiele zeigen, daß ein und dasselbe Pflanzenorgan im Lauf eines Jahres seine Funktion wechseln kann, und zweitens, daß oft auch tote, abgestorbene Teile noch eine wichtige Rolle im Leben der Pflanze zu spielen berufen sind. An Blüten und Früchten wird dergleichen vielfach beobachtet. Dort kommt es z. B. häufig vor, daß Blumenblätter, welche anfänglich die Insekten anzulocken und den Blütenstaub gegen Nässe zu schützen haben, später in verdorrttem Zustande zur Verbreitung der Früchte und Samen sich nützlich machen; an Laubblättern dagegen ist der Wechsel der Funktion verhältnismäßig selten und wird fast nur an Pflanzen der Steppen und der Mittelmeerflora beobachtet.

Wieder etwas anders verhält es sich bei den Zweigen der Sauerdorne (*Berberis*). An der Basis des Sprosses stehen Blätter, die in fünf bis sieben, weiter aufwärts in drei nadelartige Spitzen umgewandelt sind, wie es Abbildung S. 133, Fig. 6 und 7, zeigt. In ihren Achseln stehen Knospen, die im nächsten Frühjahr austreiben; diese jungen Triebe sind dann durch die dreizinkigen Dornen gegen das Abgeweidetwerden trefflich geschützt.

An der im Volksmund unter dem Namen Akazie bekannten *Robinia Pseudacacia*, außerdem aber noch an zahlreichen anderen Robinien sowie an mehreren sibirischen Karaganen,

namentlich an *Caragana microphylla* und *pygmaea*, sind es nicht ganze Blätter, welche zu Stacheln werden, wie bei *Berberis*, ebensowenig Blattspindeln, wie bei den Tragantsträuchern, sondern Nebenblätter. Dort, wo das Laubblatt von dem Stengel ausgeht, stehen rechts und links bei den Schmetterlingsblütlern Gebilde, die man mit Rücksicht auf ihre Lage als Nebenblätter (*stipulae*) bezeichnet. Diese sind nun bei den Robinien und den genannten Karaganen nicht blattartig, sondern als dreieckige, in eine scharfe Spitze vorgezogene, braune Dornen ausgebildet. Wenn im Herbst das Laubblatt sich ablöst und abfällt, so bleiben diese beiden in Dornen umgewandelten Nebenblätter zurück und verharrten den Winter hindurch und selbst noch im folgenden Sommer an ihrer Stelle. In der Nische zwischen den beiden unter einem Winkel von 120° auseinander weichenden Nebenblattedornen steckt eine Knospe, und diese kommt im nächsten Frühling zur Entfaltung. Auch hier wiederholt sich derselbe Schutz, wie er früher bei den Sauerdornsträuchern angegeben wurde. Solange die jungen, zarten Laubblätter in dieser Nische zwischen den zwei dornigen Nebenblättern stecken (s. Abbildung, S. 133, Fig. 4), werden sie von den Tieren auf das sorgfältigste gemieden, und erst dann, wenn sie den alten dornigen Nebenblättern über die Spitzen gewachsen sind, hat es auch mit dem Schutz ein Ende.

An der zu den kürbisartigen Gewächsen gehörenden südafrikanischen *Acanthosicyos horrida* (s. Abbildung, S. 423, Fig. 1) sind zwar ähnlich wie bei den Robinien die Nebenblätter in Dornen umgewandelt, aber hier kann von einem Schutze der Laubblattspreiten kaum gesprochen werden. Schon das erste über den beiden großen Keimblättern folgende Sproßblatt zeigt eine Spreite von kaum 6 mm Länge und 2—3 mm Breite. Das zweite ist noch kleiner und die weiter aufwärts vom Sproß ausgehenden sind in winzige Schüppchen umgewandelt, die als Nahrung für weidende Tiere keine Bedeutung haben. An den Stengeln der ausgewachsenen Stöcke sieht man daher nur eigentlich Dornen, und es gewinnt dieses seltsame Gewächs dann einige Ähnlichkeit mit der auf S. 250 abgebildeten *Colletia*. Bei dieser sind aber die Abzweigungen des Stammes, bei *Acanthosicyos* die Nebenblätter in Waffen umgewandelt. Was in beiden Fällen gegen die Angriffe der Tiere geschützt wird, sind in erster Linie die unteren Teile der Dornen selbst! Diese sind nämlich grün, haben die Fähigkeit zu assimilieren und sind mit einer saftreichen Gewebeschicht versehen, welche hungernden Tieren in einer pflanzenarmen Gegend immerhin begehrenswert erscheinen mag. In zweiter Linie werden dann allerdings auch noch die winzigen Knöspchen geschützt, welche bei *Acanthosicyos* zwischen je zwei großen grünen Dornen aus der Achse entspringen.

4. Die Lichtlage der Blätter.

So wenig man imstande ist, die Entstehung der eben besprochenen Schutzeinrichtungen völlig aufzuklären, d. h. ihre Entstehungsursachen sich vorzustellen, so einleuchtend ist es, daß den Blättern, als den wichtigsten Organen der Pflanzen, tatsächlich durch die geschilderten Einrichtungen ein Schutz zuteil wird. Die Zerstörung der Blätter wäre auch der größte Verlust, der eine Pflanze treffen kann, denn damit ist nicht nur ihre Ernährung, sondern auch ihre Fortpflanzung bedroht, da die Organe der Fortpflanzung zu ihrer Entstehung die

Beschaffung von Nährstoffen voraussetzen. Aber der bloße Schutz, die bloße Erhaltung der Blätter bietet noch keine Gewähr für ihre ersprießliche Tätigkeit. Man muß immer im Auge behalten, daß das Blatt ein abhängiges Organ ist, abhängig vom Lichte, ein Lichtorgan im wahren Sinne des Wortes. Haben wir früher schon festgestellt, inwiefern der innere Bau des Blattes dem Lichte angepaßt ist, so sind jetzt noch wichtige Tatsachen anzuführen, welche erläutern, daß die Blätter auch durch ihre Stellung an der Pflanze und ihre Lage im Raum wirklich in den Stand gesetzt werden, die Energie der Lichtstrahlen nach Möglichkeit auszunutzen. Es ist einleuchtend, daß die Anlage der Blätter am Stengel, ihr eigentümliches, durch die Blattnerven beeinflusstes Flächenwachstum, wodurch sich die flachen Blätter dem Lichte entgegenwölben, und die sich entwickelnde Blattstellung schon dahin zielt, daß die Blätter auch die richtige Lage erhalten. Durch ihre Entstehung an der Spitze des Stengels und das spätere bei seiner Verlängerung erfolgende Auseinanderrücken der Blätter erhalten sie eine regelmäßige Stellung im Raum, die man als „Blattstellung“ bezeichnet, und mit deren merkwürdiger Gesetzmäßigkeit wir uns in einem anderen Bande dieses Werkes noch ausführlicher befassen werden.

Aber wenn durch diese von der Pflanze gegebene Blattstellung vermieden wird, daß sich die Blätter eines aufrechten Stengels gegenseitig verdecken und das Licht abschneiden, so würde diese Einrichtung allein zur Ausnutzung der Beleuchtung deshalb nicht ausreichen, weil diese Beleuchtung durch die scheinbare Sonnenbewegung und durch Bewölkung sich mit jeder Tagesstunde ändert. Die Blätter müssen instande sein, dieser Änderung zu folgen. Bei Blättern, welche wie die aufrechten Blätter der Schwertlilien mit breiter Basis dem unterirdischen Stamm angewachsen sind, ist allerdings keine Bewegung möglich, aber auch nicht nötig, da die auf beiden Seiten gleichgebauten Blätter die Strahlen während des ganzen Tages auffangen können. Auch wachsen solche Pflanzen an sonnigen Standorten. Wenig beweglich sind auch die direkt am Stengel sitzenden Blätter kleinblättriger Pflanzen. In den allermeisten Fällen aber besitzen die Blätter einen Stiel und können mittels dieses die ausgiebigsten Bewegungen machen, um die Blattfläche in die Lage zu bringen, in der ihr die größte Strahlenmenge zukommt, d. h. senkrecht zum einfallenden Lichte. Die Stiele nehmen wegen ihrer Empfindlichkeit gegen Licht und Schwerkraft meist eine gegen den Horizont geneigte Stellung ein, wodurch die Blattfläche in die günstigste Lage gebracht wird. Allein es handelt sich nicht bloß um eine passive Bewegung der Blätter durch die Blattstiele. Vielmehr ergeben Beobachtungen, daß die Blattflächen selbst dahin streben, sich senkrecht zum Lichte einzustellen, eine Empfindlichkeit, welche man als Transversalheliotropismus bezeichnet hat. Bei den Malvenarten, z. B. *Malva rotundifolia*, *Malva verticillata* und *neglecta*, ist die Blattfläche mit dem Stiel durch ein bewegliches Gelenk verbunden und überträgt bei Wechsel der Beleuchtung auf dieses einen Reiz; infolge des Reizes führt das Gelenk Bewegungen aus, welche die Blattfläche wieder einstellen. Wie man an einer in einem Topf erwachsenen Pflanze von *Malva verticillata* während des Tages beobachten kann, folgen die Blattflächen dem Laufe der Sonne, indem sie allmählich ihre Stellung so ändern, daß die Lichtstrahlen sie stets möglichst senkrecht treffen.

Diese allgemeine Eigenschaft der Blätter führt dazu, daß auch an reichbeblätterten Zweigen die Stellung der Flächen so erscheint, daß die Gesamtheit der Blätter durch Drehung möglichst eine einzige chlorophyllhaltige Fläche bildet. Dadurch werden alle Blätter eines gleichen oder doch nahezu gleichen Lichtgenusses teilhaftig und sind in

den Stand gesetzt, der ihnen zukommenden Aufgabe in einträchtiger Weise nachzukommen. Wie sich aber dieses Blattmosaik in einzelnen Fällen gestaltet, und wie das erwähnte Ziel durch die gegenseitige Anpassung und den Wechsel in der Verteilung, Richtung, Gestalt und Größe der Laubblätter erreicht wird, soll im nachfolgenden an einer Reihe von Beispielen erläutert werden.

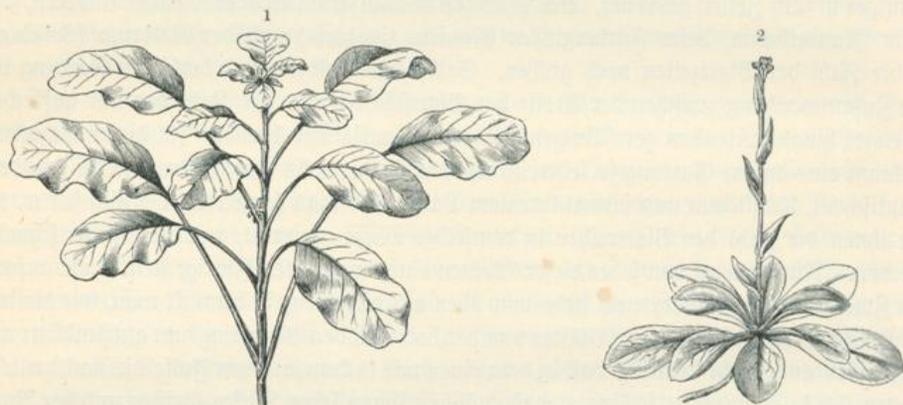
Mag ein kleines beblättertes Pflänzchen oder ein reichbelaubter mächtiger Baum in den Kreis der Betrachtung gezogen werden, immer wird man finden, daß die Zahl der Blattreihen an den aufrechten Stengeln desto geringer ist, je breiter die Laubflächen sind. Erscheinen die grünen Flächen breit-eiförmig oder elliptisch und kurzgestielt, wie jene der Buchen, Erlen und Haselnußsträucher, so sind sie an den aufrechten Zweigen regelmäßig in zwei oder drei Zeilen geordnet. Sind die Blätter verkehrt-eiförmig, also in der vorderen Hälfte breiter als an der Basis, und zugleich kurzgestielt, wie z. B. jene der Eichen, so findet man sie häufiger in fünf Zeilen geordnet. Bei Pflanzen mit lanzettlichen oder linealen Blättern, z. B. beim Mandelbaum, beim Färbeginster (*Genista tinctoria*) und der Goldrute (*Solidago*), ist die Zahl der Blattzeilen noch größer. Selbst innerhalb ein und derselben Gattung tritt ein Zusammenhang zwischen der Breite der Blattflächen und der Zahl der am aufrechten Stengel hinauflaufenden geradlinigen Blattzeilen auffallend hervor. In dieser Beziehung ist kaum eine andere Gattung so lehrreich wie die Weiden. Es gibt Weiden mit kreisrundem, elliptischem, länglichem und schmal-linealem Laub, und man kann recht deutlich sehen, wie bei ihnen die Zahl der Blattreihen in demselben Maße zunimmt, wie die Blätter schmaler werden. Nimmt man von jeder dieser Weiden einen aufrechten Zweig, stellt diese aufrechten Zweige nebeneinander und sieht von oben auf dieselben, so bemerkt man, wie die drei, fünf, acht, dreizehn Zeilen der Blätter von der betreffenden Achse ringsum ausstrahlen; man sieht aber auch recht deutlich, daß in dem einen wie in dem anderen Falle die nachbarlichen Zeilen sich so aneinander schließen, daß zwischen ihnen keine Lücken bleiben und der Raum rings um den Stengel ganz ausgefüllt ist. In dem einen Falle bilden drei Zeilen sehr breiter Blätter, in den anderen Fällen fünf oder acht Zeilen mittelbreiter Blätter und wieder in einem anderen Falle dreizehn Zeilen sehr schmaler Blätter diese Ausfüllung.

Von den Sonnenstrahlen, welche in der Richtung der Achse des Zweiges von obenher einfallen, werden alle Blattzeilen, mögen deren drei, fünf, acht oder dreizehn vorhanden sein, gleichmäßig getroffen, keine Zeile wird die andere beschatten, und nur von den einzelnen Gliedern einer Zeile, die übereinander stehen, könnten die oberen den tiefer stehenden Licht wegnehmen. Aber auch das ist schon dadurch vermieden, daß die Länge der Laubblätter der Höhe der Stockwerke angepaßt ist. Sind die Stockwerke niedrig, folgen also die in einer geradlinigen Zeile stehenden Blätter in geringen Abständen aufeinander, so sind die Blätter kurz, sind die Stockwerke hoch, so sind die Blätter lang; immer ist die Länge so geregelt, daß in den Mittelraum zwischen je zwei Blättern einer Zeile die Sonnenstrahlen eindringen und sozusagen das Innere des Stockwerkes durchleuchten können.

Es ist hier daran zu erinnern, daß die Sonne nicht scheinrecht auf die von der Erde emporgerichteten Zweige herablickt, daß ihre Strahlen selbst unter dem Äquator in den Morgen- und Abendstunden schräg einfallen und zu diesen Stunden den von zwei Blättern einer Zeile nach oben und unten begrenzten Raum gerade so beleuchten wie jene Strahlen der aufgehenden und untergehenden Sonne, welche durch die Fenster in eine Stube eindringen. Damit soll nicht gesagt sein, daß den ganzen Tag hindurch kein Blatt beschattet

wird; das wäre schon deswegen unmöglich, weil die Sonnenstrahlen zu jeder Stunde des Tages unter einem anderen Winkel auf die unberrückt im Boden haftende Pflanze einfallen. Am Vormittag werden die Blätter der einen, am Nachmittag jene der anderen Seite teilweise in Schatten gestellt oder nur von zerstreutem Lichte getroffen. Auch der aufrechte Stengel, der ringsum mit abstehenden Blättern besetzt ist, muß notwendig einen Teil derselben im Laufe des Tages kurze Zeit beschatten. Diese Schatten rücken aber, gleich dem Schattenstreifen, den der Zeiger einer Sonnenuhr wirft, mit dem Gange der Sonne stetig vorwärts und verweilen nur kurze Zeit an einer Stelle.

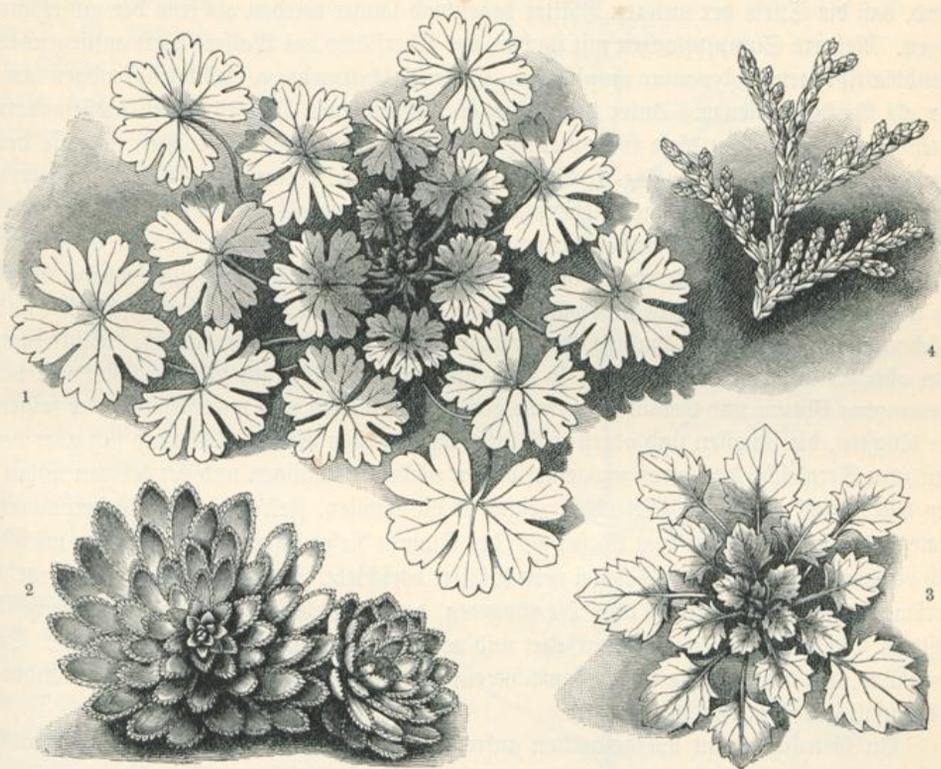
Das Eindringen der Sonnenstrahlen zwischen den übereinander stehenden Blättern wird übrigens auch durch die Richtung der Blattflächen wesentlich beeinflusst. Ein vom Stengel schief nach oben abstehendes Blatt, dessen Mittelrippe in der Richtung der einfallenden Strahlen liegt, wird zu keiner Stunde des Tages seinen tiefer stehenden Nachbarn



Bildung eines Blättermosaiks durch Verlängerung und durch Verkürzung der Blattstiele: 1 grüner Amaranth (*Amarantus Blitum*), 2 *Thlaspi alpinum*. (Zu S. 138, 140 und 146.)

zu viel Licht wegnehmen, jedenfalls viel weniger als ein Blatt, dessen Fläche horizontal ausgebreitet oder nach außen etwas abschüssig ist, und welches sich den einfallenden Sonnenstrahlen mit seiner Breitseite in den Weg stellt. Hieraus erklärt sich eine Erscheinung, die besonders häufig an kleinen niederen Kräutern und Staudenpflanzen mit geradem, aufrechtem Stengel hervortritt. Die untersten Blätter dieser Pflanzen, für welche als Vorbild *Thlaspi alpinum* (s. obenstehende Abbildung, Fig. 2) gewählt sein mag, bilden mit der Achse des Stengels einen rechten Winkel und liegen mit ihrer Breitseite dem Boden auf, den sie in einem größeren oder kleineren Umkreise vollständig überdecken. Diese können selbstverständlich anderen Blättern desselben Stengels kein Licht wegnehmen. Die höher am Stengel entspringenden Blätter sind dagegen nicht mehr horizontal ausgebreitet, sondern etwas aufwärts gerichtet; die obersten Stengelblätter sind sogar ziemlich steil aufgerichtet, und ihre Mittelrippe liegt in der Linie der mittags einfallenden Sonnenstrahlen. Im Einklange mit dieser Einrichtung beobachtet man in verschiedenen Höhen des aufrechten beblätterten Stengels auch eine Veränderung der Abmessungen, insbesondere der Länge seiner Blätter. Die untersten, nahe dem Boden entspringenden Blätter sind die längsten, die weiter nach aufwärts folgenden werden dagegen zusehends kürzer und gehen in der Blütenregion häufig in unscheinbare, dem Stengel anliegende Schuppen über.

Viele Pflanzen erzeugen nahezu gleichzeitig am Ende eines aufrechten Sprosses gehäufte, nach allen Seiten ausstrahlende Blätter. Erhebt sich die Achse eines solchen Sprosses nur wenig über den Boden, so entsteht eine sogenannte Rosette. Damit alle Rosettenblätter gleich viel Licht erhalten, ist es notwendig, daß die oberen bedeutend kürzer sind, als die unteren. Und so verhält es sich in der Tat. Doch kommen mehrere bemerkenswerte Modifikationen vor. Bei den rosettenförmigen Dickblättern, z. B. *Echeveria* und *Sempervivum*, und bei vielen Arten der Gattung *Saxifraga*, von denen *Saxifraga aizoon* dem



Blättermosaik: 1 Blattrosetten eines Storchschnabels (*Geranium pyrenaicum*), von oben gesehen; 2 Blattrosetten eines Steinbrechs (*Saxifraga aizoon*); 3 Blattrosette einer Glockenblume (*Campanula pusilla*), von oben gesehen; 4 anliegende schuppenförmige Blättchen an dem Ästchen eines Lebensbaumes (*Thuja*).

Zeichner zu der obenstehenden Abbildung, Fig. 2, vorlag, sind die Blätter zungenförmig oder spatelförmig und in der Nähe des vorderen Endes etwa doppelt so breit als an ihrer dem verkürzten Stengel aufsitzenden Basis. Es ist nun unvermeidlich, daß die schmälere Hälfte der unteren Rosettenblätter von höher stehenden Blättern überdeckt werden und nicht genügend Licht erhalten; diese überdeckten schmälere Hälften entbehren aber des Chlorophylls und bedürfen nicht des direkten Sonnenlichtes; die vorderen breiteren Hälften dagegen, welche grünes Gewebe zeigen, können bei dieser Anordnung sämtlich gleichzeitig von der Sonne gut beschienen werden. In vielen anderen Fällen betrifft die Verlängerung nur die Blattstiele der unteren Rosettenblätter. Diese wachsen so lange aus, bis die von ihnen getragenen Spreiten dem Bereiche des Schattens der höher stehenden Blätter entrückt sind. So findet man es beispielsweise an den Blattrosetten des

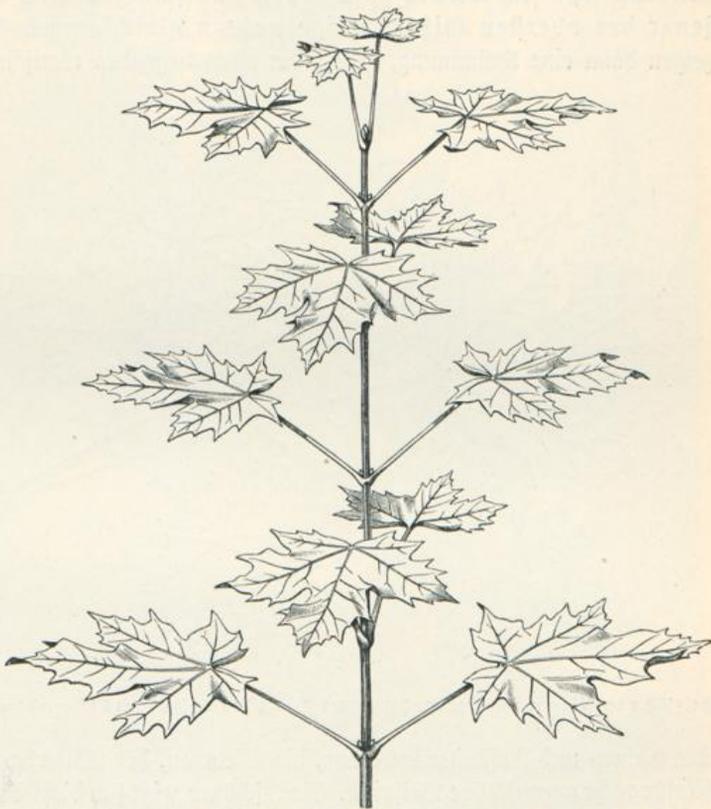
auf S. 139 in Fig. 1 abgebildeten *Geranium Pyrenaicum* und an der Blattrosette der in Fig. 3 dargestellten niedlichen, auf den Geröllhalden subalpiner Gegenden heimischen kleinen Glockenblume (*Campanula pusilla*). Von obenher gesehen, stellt jede dieser Rosetten ein zierliches Blättermosaik dar.

Man trifft solche Blättermosaiken übrigens nicht nur bei Pflanzen mit sehr kurzer, sich wenig über den Boden erhebender Achse, sondern auch an Gewächsen mit gestrecktem, aufrechtem Stengel und ziemlich weit auseinander gerückten Blättern, was dadurch ermöglicht wird, daß die Stiele der unteren Blätter bedeutend länger werden als jene der gipfelständigen. Mehrere Sumpfpflanzen mit flachen, der Oberfläche des Wassers platt aufliegenden Laubblattspreiten (*Polygonum amphibium*, *Villarsia*, *Hydrocharis*, *Callitriche*) mögen hierfür als Beispiele dienen. Unter den Pflanzen des trockenen Landes zeigen insbesondere mehrere Amarantaceen diese Gruppierung der Blätter. An dem aufrechten Sprosse des *Amarantus Blitum*, der in Fig. 1, S. 138, abgebildet ist, werden die Stiele der unteren Blätter der Reihe nach achtmal, siebenmal, sechsmal so lang als jene der obersten Blätter. So kommt es, daß die sämtlichen grünen Blattflächen dieser Pflanze nahezu in gleicher Höhe sich ausbreiten können, ohne daß doch eins das andere in Schatten stellen würde. Auch an tropischen und subtropischen Gewächsen, wie namentlich an den Aralien, Zekropien und Fächerpalmen, wird eine ähnliche Gruppierung der Laubblätter beobachtet. Blickt man von obenher auf eine Fächerpalme, so zeigt sich ein ganz ähnliches Blättermosaik wie bei *Amarantus Blitum* und *Geranium pyrenaicum*. Die ältesten und untersten Blätter zeigen die längsten, die jüngsten und obersten Blätter die kürzesten Stiele. Während sich aber bei den zum Vergleiche hier herangezogenen beiden niederen krautigen und kurzlebigen Pflanzen das Mosaik nur kurze Zeit erhält, zeigen es die Aralien, Zekropien und Fächerpalmen viele Jahre hindurch. In dem Maße, als der Stamm dieser Pflanzen in die Höhe wächst, sich verlängert und aus dem Scheitel neue Blätter vorschiebt, sterben die älteren, nicht mehr verlängerungsfähigen Blätter ab. Die jüngeren, deren Stiele sich inzwischen entsprechend gestreckt und deren Spreiten sich entfaltet und vergrößert haben, treten an ihre Stelle. So kommt es, daß die Stämme dieser Gewächse ein viele Jahre hindurch scheinbar unverändertes Mosaik aus Blattspreiten tragen.

An Gewächsen mit langgestreckten aufrechten Stengelbildungen wird übrigens auch noch durch eine andere Gruppierung die gegenseitige Beeinträchtigung der zahlreichen übereinanderstehenden Blätter verhindert. Wir meinen die Ausbildung der Blätter in Form grüner, dem Stengel anliegender Schuppen, wie sie an so vielen Koniferen, beispielsweise an dem in Abbildung, S. 139, Fig. 4, dargestellten Nischen einer *Thuja*, beobachtet wird. Allerdings kann hier nur die Rückseite der kleinen Blättchen von den Sonnenstrahlen getroffen werden. Das ist aber mit Rücksicht auf die Wirkung ganz dasselbe, als wenn nur die Oberseite getroffen würde. Da die kleinen, grünen, den Stengel beschuppenenden Blättchen wie Ziegel auf einem Dach aneinander gereiht sind und der größte Teil der Rückenflächen von den Nachbarn unbedeckt bleibt, so kann auch trotz der gedrängten Stellung von einer gegenseitigen Entziehung des Lichtes keine Rede sein.

Nicht ohne Grund wurde bisher bei jedem einzelnen der besprochenen Fälle betont, daß es sich um Laubblätter an aufrechten Stengeln handle, und dieser Umstand muß hier nochmals ganz besonders hervorgehoben werden; denn an horizontalen Zweigen sind die Verhältnisse wesentlich anders, und was auf die einen paßt, schießt sich nicht immer

auch für die anderen. Es ist das auch leicht ersichtlich zu machen. Man braucht nur einen belauberten, aufrechten Ahornzweig (s. die untenstehende Abbildung) so weit seitwärts zu biegen, daß er wagerecht zu stehen kommt. Die Blätter, die früher mit der Breitseite gegen das einfallende Licht gerichtet waren, sind ihm jetzt mit der Randkante zugewendet. Wenn die Lage und Richtung der Blattspalten früher an dem aufrechten Zweig eine passende und vorteilhafte war, so ist sie jetzt in das Gegenteil verkehrt, und nun beginnt der auf S. 136 geschilderte Transversalheliotropismus zu wirken und ändert das ganze Aussehen der Zweige, wie in der Abbildung auf S. 142. Daß heftige Winde die Blattstiele und Zweige biegen und neigen, hätte noch weniger zu bedeuten, denn wenn der Sturm vorübergezogen ist, stellt sich in der Regel auch die frühere Lage wieder her. Wichtiger ist schon der Druck, den in Gegenden mit reichlichem Schneefall der Schnee auf die Pflanzen ausübt, und der bei langer Dauer bleibende Änderungen in der Lage der Äste und Zweige veranlassen kann. Am wichtigsten aber ist der Umstand, daß ausdauernde Pflanzen an den Enden ihrer Sprosse von Jahr zu



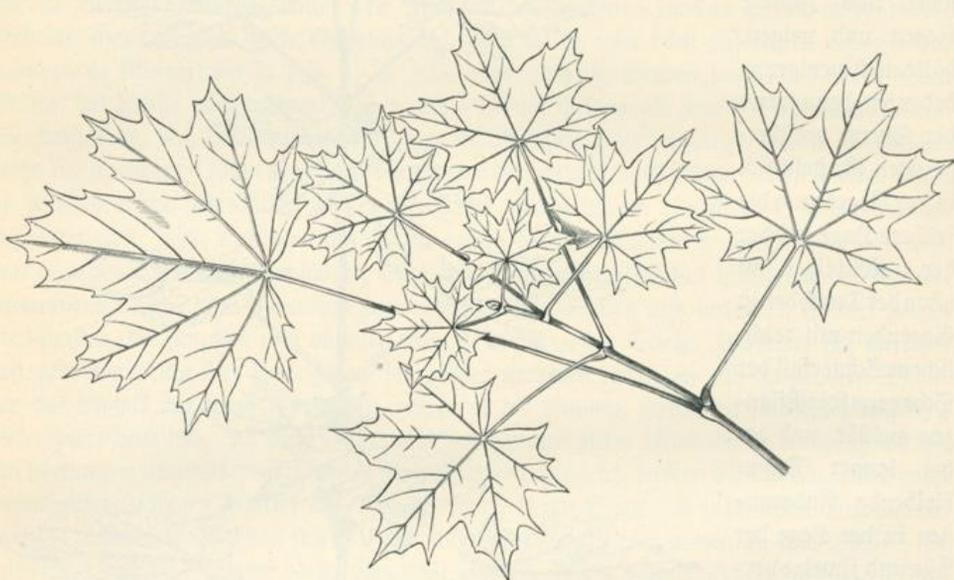
Aufrechter belaubter Zweig des Spitzahorns (*Acer platanoides*). (Zu S. 141 u. 145).

Jahr um ein Stück weiter wachsen, daß sich über den schon vorhandenen immer wieder neue Jahrestriebe entwickeln, und zwar nicht nur am Scheitel, sondern auch aus Knospen, die seitlich an den Zweigen entstehen.

Man betrachte einmal ein junges, noch unverästetes Bäumchen, dessen Gipfel mit drei Knospen abschließt. Bei beginnender Entwicklung im Frühling werden aus den drei Knospen Zweige; der mittlere ist lotrecht in die Höhe gewachsen, die beiden seitlichen sind schräg emporgewachsen, alle drei sind reichbelaubt, und das Laub der drei Zweige überdeckt und beschattet einen drei-, vier-, vielleicht zehnmal größeren Raum als die paar Blätter, an deren Basis sich im verflossenen Sommer die Knospen ausgebildet hatten. Es ist nun über der Mitte des Bäumchens, wie es im verflossenen Jahre bestand, gewissermaßen ein neues,

reichbelaubtes und dichtschattendes Bäumchen emporgewachsen. Die Blätter der Gipfelsprosse ordnen sich allerdings so, daß eine gegenseitige Benachteiligung nicht stattfindet, aber auf die Blätter tiefer unten ist keine Rücksicht mehr genommen. Darum drehen sich die ungünstig gelegenen Blätter so lange, bis sie aus der Beschattung herauskommen.

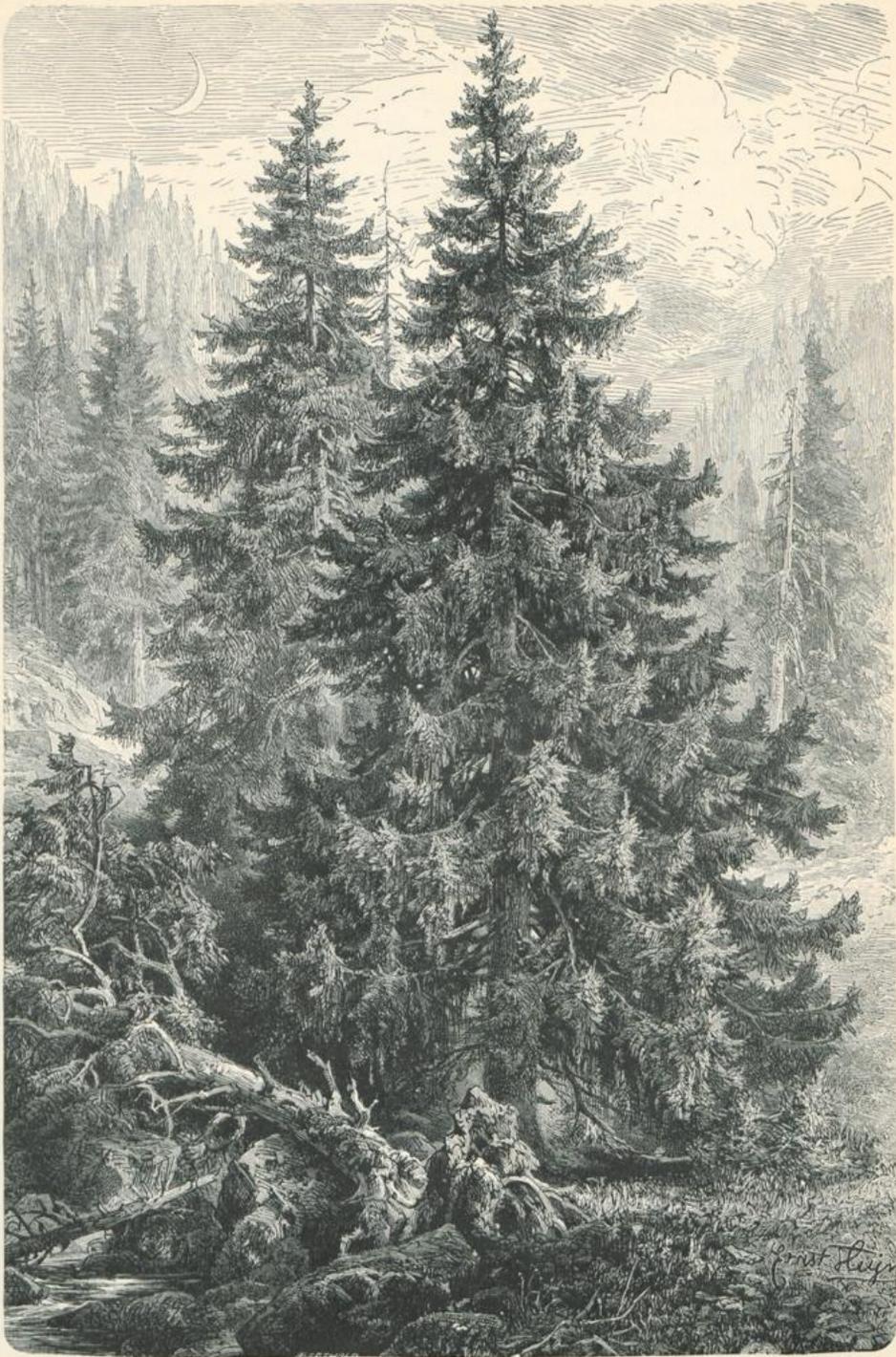
Das weitere Verhalten der über den Schattenkreis vorgeschobenen belaubten Zweige ist nun bei verschiedenen Bäumen und Sträuchern sehr ungleich. Bei einem Teile derselben suchen die über den Schattenkreis hinausgewachsenen Zweige der älteren unteren Äste sich wieder zu erheben und schlagen eine Richtung ein, welche jener der obersten Gipfelzweige nahezu gleichkommt. Solche Äste und Zweige zeigen dann eine Krümmung, welche der eines liegenden römischen ω zu vergleichen ist.



Seitlich vom Stamm absteigender belaubter Zweig des Spitzahorns (*Acer platanoides*). (Zu S. 141, 142 u. 145.)

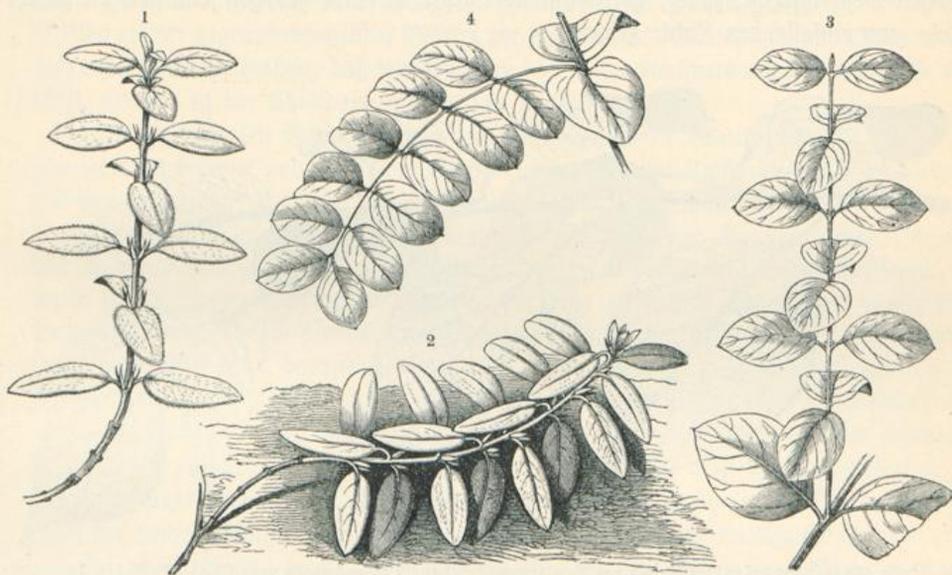
Die Eschen- und Kastanienbäume, die Platanen, der Götterbaum, die Zirbelliefer sind hierfür recht augenfällige Beispiele. Noch schöner zeigt sich diese Erscheinung bei der Fichte (s. die beigeheftete Tafel „Fichte“), bei der sich die endständigen Zweige der untersten Äste häufig ganz lotrecht aufrichten. Bei einer zweiten Gruppe von Bäumen und Sträuchern, als deren Vorbild der Spitzahorn (*Acer platanoides*) gelten kann, erheben sich die über den Schattenkreis hinauswachsenden Zweige nicht nach aufwärts, sondern erscheinen als gerade Verlängerungen der durch sie abgeschlossenen unteren Äste der Baumkrone und sind wie diese entweder dem Boden parallel oder gegen denselben geneigt (s. obenstehende Abbildung), und bei einer dritten Gruppe, für die der Zürgelbaum (*Celtis*), der schwarze und rote Holunder (*Sambucus nigra* und *racemosa*) und der Schneebereentrauch (*Symphoricarpos*; s. Abbildung, S. 143, Fig. 4) als Beispiele genannt sein mögen, bilden diese Zweige Bogen, deren freies Ende dem Boden zugewendet ist.

An den vorgeschobenen Seitenzweigen jener Bäume und Sträucher, welche der ersten Gruppe angehören, kann dieselbe Verteilung und Richtung der Blattspalten eingehalten



Sichte.

werden, welche die aufrechten Gipfelzweige aufweisen; nicht so bei den vorgeschobenen Trieben der Bäume und Sträucher der zweiten und dritten Gruppe, deren Laubblattspreiten durch die veränderte Richtung der sie tragenden Zweige in die denkbar unvorteilhafteste Lage gegen das einfallende Licht gesetzt würden. Für die Blätter dieser Zweige ist es dringend notwendig, daß sie ihre Lage ändern und sich wieder zweckmäßig einstellen. Diese Einstellung erfolgt denn auch, und zwar auf viererlei Weise. Entweder vollzieht sich eine entsprechende Drehung der Stengelglieder, oder es findet eine Drehung der Blattstiele statt, oder die Blattstiele drehen sich zwar nicht, aber die Neigung der Blattfläche wird eine andere, oder endlich einzelne Blattstiele verlängern sich ganz außerordentlich, so daß die von ihnen

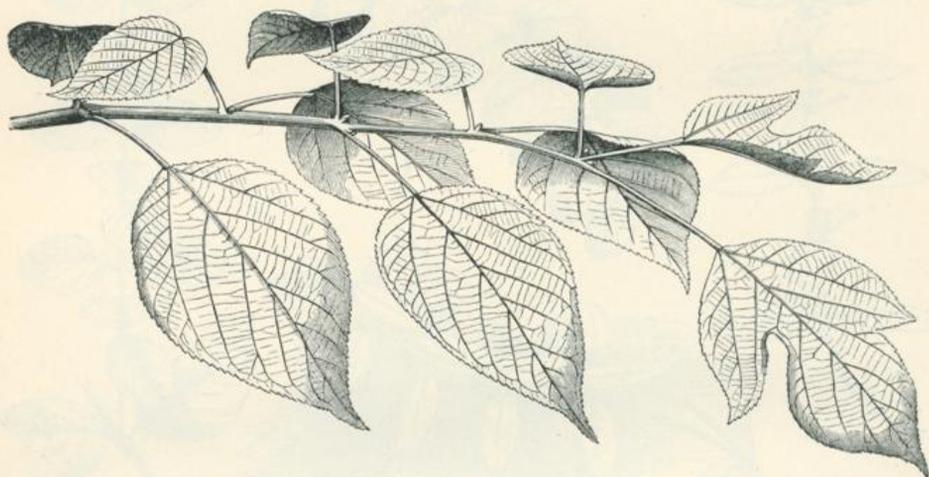


Drehung der Stengelglieder und Blattstiele: 1 aufrechter Zweig des großblütigen Sonnenröschens (*Helianthum grandiflorum*); 2 dem Boden aufliegender Zweig derselben Pflanze; 3 aufrechter Zweig von *Symphoricarpus vulgaris*; 4 abwärts gebogener Zweig derselben Pflanze. (Zu S. 142, 143 u. 145.)

getragenen Blattspreiten über die benachbarten weit hinausgeschoben werden. Selbstverständlich kommt es häufig vor, daß sich diese Veränderungen auch mannigfach kombinieren.

Die Drehung der Stengelglieder beobachtet man an den Haselnußsträuchern, den Buchen und Hainbuchen, und besonders häufig an Bäumen und Sträuchern mit gekreuzten, kurzgestielten Blattpaaren, wie z. B. an *Cornus*, *Lonicera*, *Symphoricarpus* und noch unzähligen anderen. Obenstehende Abbildung (Fig. 3) stellt einen ungefähr um die Hälfte verkleinerten aufrechten Zweig von *Symphoricarpus vulgaris* dar. Sobald ein solcher Zweig in einem Bogen nach abwärts wächst, findet in jedem Stengelglied eine Drehung um 90° statt, und die Folge ist, daß die Flächen sämtlicher Blattpaare die gleiche Lage gegen die Sonne erhalten, wie es in Fig. 4 zu sehen ist. Die Blätter sind jetzt nicht mehr in vier, sondern in zwei Zeilen geordnet. Hand in Hand mit dieser Drehung der Stengelglieder geht sehr häufig die Drehung der Blattstiele. Besonders auffallend und für sich allein, d. h. ohne gleichzeitige Drehung der Stengelglieder, wird die Drehung der Blattstiele an dem Bitterjüß (*Solanum Dulcamara*) und an dem Judasbaume (*Cercis Siliquastrum*) beobachtet. Wie man an den

aufrechten Zweigen, besonders schön an den Schößlingen des zuletzt genannten Baumes beobachten kann, sind seine Blätter in zwei Zeilen angeordnet. Die Spreiten der Blätter sind an den aufrechten Zweigen parallel zum Erdboden gerichtet. Schneidet man einen solchen Schößlingszweig ab und hält ihn horizontal, so erscheinen alle Blattflächen mit ihren Rändern oder Kanten gegen den Erdboden gestellt. Man sollte nun erwarten, daß sie diese Lage auch zeigen, wenn der Zweig aus eigenem Antriebe horizontal geworden ist. Aber nichts weniger als das. Die Stiele sämtlicher Blätter drehen sich vielmehr dann so lange, bis die von ihnen getragenen Spreiten oder Flächen eine zum Erdboden parallele Lage erhalten, und die Folge ist, daß die Blätter des Judasbaumes an allen Zweigen, mögen diese aufrecht, schief, horizontal oder gegen die Erde gebogen sein, stets die gleiche Lage zum einfallenden Lichte zeigen.



Wagerecht absteigender belaubter Zweig des Papiermaulbeerbaums (*Broussonetia papyrifera*). (Zu S. 144, 146 u. 150.)

Was die Änderung in der Neigung der Blattfläche zum Blattstiel anlangt, so möge hier als bekanntestes Beispiel der japanische Papiermaulbeerbaum (*Broussonetia papyrifera*) angeführt sein. Die Blätter sind an den Zweigen dieses Baumes in vier Zeilen geordnet. Meistenteils sind sie zu zwei und zwei gegenständig und die aufeinander folgenden Paare um einen rechten Winkel gegeneinander verschoben. In den aufrechten Gipfelzweigen nehmen sie jene Lage ein, welche an dem Spizahorn (s. Abbildung, S. 141) beobachtet wird. In den unteren, nahezu horizontal absteigenden Zweigen tritt dagegen folgende Veränderung ein (s. obenstehende Abbildung). Von jedem Blattpaare richtet sich einer der Blattstiele parallel zur Erdoberfläche, und seine Blattspreite ist gleichfalls nahezu wagerecht ausgebreitet oder doch nur wenig geneigt; der andere Blattstiel aber erhebt sich senkrecht von dem horizontalen Zweige, die von ihm getragene Blattspreite ist unter einem rechten Winkel knieförmig abgebogen und insolgedessen auch wieder nahezu wagerecht ausgebreitet und parallel zum Erdboden gestellt. Zur Vervollkommnung dieser seltsamen Anordnung und Lage der Blätter wirken bei dem Papiermaulbeerbaum allerdings noch eine geringe Drehung der Stengelglieder, Verkürzung der sich aufrichtenden Blattstiele und Verkleinerung der von diesen letzteren getragenen Blattspreiten mit.

Bei weitem häufiger als diese seltsame Veränderung in der Stellung der Blattspreiten bei dem Papiermaulbeerbaum trifft man jenen Fall, wo durch die Verlängerung einzelner Blattstiele die zweckmäßigste Einstellung der Blattspreiten gegen das Licht erfolgt. Dieser Fall wird besonders schön an den Ahornbäumen, namentlich an dem Spitzahorn (*Acer platanoides*), beobachtet, und es mag darum auch diese Art als Vorbild dienen. Die Abbildung auf S. 141 zeigt einen aufrechten Zweig dieser Ahornart mit gekreuzten Blattpaaren. Die Stiele von je zwei gegenüberstehenden Blättern sind an den aufrechten Zweigen gleich lang. Wie ganz anders wird aber das Längenverhältnis an jenen Blättern, welche nicht die aufrechten, sondern die horizontalen oder mit ihrem freien Ende schräg nach abwärts gerichteten Zweige dieser Baumart schmücken. An solchen Zweigen wird von den Stielen zweier gegenüberstehender Blätter der eine immer bedeutend länger als der andere, und es ist keine Seltenheit, daß sein Ausmaß das seines Nachbarn um das Dreifache übertrifft, wie das in der Abbildung auf S. 142 zu sehen ist.

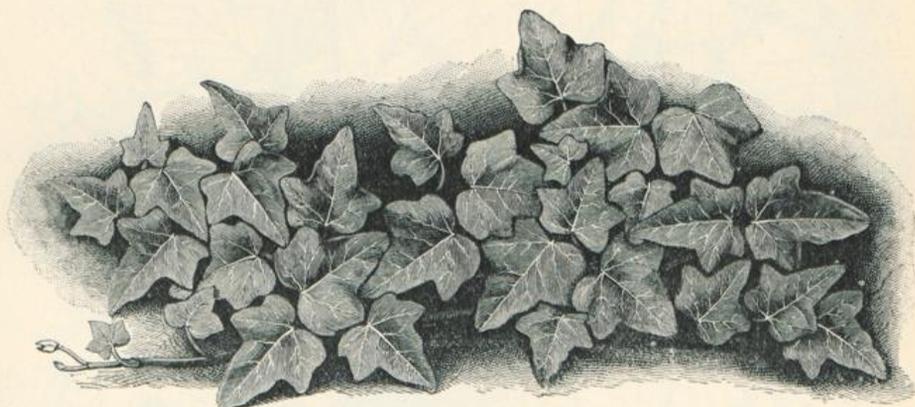
Die geschilderten Veränderungen der Lage, welche die Blattspreiten an den unteren Zweigen der Bäume und Sträucher erfahren, werden unter Umständen auch an niederen, mit ihren belaubten Stengeln dem Boden aufliegenden Gewächsen beobachtet. Besonders häufig kommt dies an jenen Arten der Gattung Ehrenpreis und Sonnenröschen (*Veronica* und *Helianthemum*) vor, deren beblätterte Stengel teilweise dem Boden aufliegen, teilweise sich senkrecht vom Boden erheben. An dem aufrechten Sprosse des großblütigen Sonnenröschens (*Helianthemum grandiflorum*), welcher auf S. 143, Fig. 1, abgebildet ist, sieht man die Blätter paarweise angeordnet, dabei kreuzweise gestellt und somit in vier Zeilen am Stengel hinauflaufend. Streckt sich ein solcher Sproß über den Boden hin, so findet zunächst eine kleine Drehung der Blattstiele statt, damit die von ihnen getragenen Blattflächen parallel zum Boden zu liegen kommen; aber man bemerkt auch noch eine andere Veränderung. Aus jedem zweiten Blattpaare hebt sich, ähnlich wie bei *Broussonetia*, einer der beiden Blattstiele in die Höhe, die von ihm getragene Blattfläche ist unter einem nahezu rechten Winkel geneigt und legt sich über den dem Boden angeschmiegtten Stengel (s. Abbildung, S. 143, Fig. 2). Infolge dieser Umlagerung sieht man die Blattflächen nicht mehr vierreihig, wie an den aufrechten Sprossen, sondern drei Reihen bildend, von denen aber die mittlere eine geringere Zahl aufweist als die beiden seitlichen Reihen.

Zu den vorhergehenden Schilderungen, welche die Einstellung der Zweige und der von ihnen getragenen Laubblätter zur Lichtquelle betreffen, wurden als Beispiele nicht ohne Absicht Pflanzenarten mit ganzrandiger Blattspreite oder solche, bei denen die Lappen der Spreite durch schmale Einschnitte voneinander getrennt sind, gewählt. Nur solche Blätter können ihren Nachbarn, welche etwas tiefer vom Stengel entspringen, gleiche Form und Größe besitzen und die gleiche Richtung einhalten, die Sonnenstrahlen ganz oder nahezu ganz wegnehmen. Ein Blatt, dessen grüne Spreite ausgebuchtet, gelappt, geteilt oder zerschnitten ist, wird durch die Buchten und breiten Spalten zwischen den Lappen und Zipseln immer reichlich Sonnenlicht auf die unter ihm stehenden Blätter durchlassen, und zwar um so mehr, je tiefer, weiter und zahlreicher die Ausschnitte sind, welche die Sonderung in Lappen und Zipsel bewirken. Es kann zwar an Schattenstreifen nicht fehlen, aber diese verschieben sich im Laufe des Tages, verweilen an einer Stelle nur kurze Zeit, und es scheint, daß eine solche rasch vorübergehende Beschattung des grünen Gewebes nicht sehr nachteilig wirkt. Folgerichtig sind aber dann bei Pflanzen mit

zerteiltem Laube die früher beschriebenen Einrichtungen überflüssig. In der That haben auch bei Pflanzen, deren Laubblätter eine vielfach gespaltene Spreite besitzen, die ausgewachsenen unteren und oberen Blätter eine gleiche Länge. Auch stehen sie alle unter demselben Winkel vom aufrechten Stengel ab. Beim Fenchel und Dillkraut, bei der Kamille, dem Eisenhut und dem Rittersporn sind die unteren und oberen Laubblätter des Stengels so übereinstimmend, daß man kaum zu sagen imstande wäre, ob ein losgetrenntes und einzeln vorgezeigtes Blatt unten oder oben vom Stengel abgenommen wurde. Nur die alleruntersten Blätter, welche ihren Schatten nicht mehr auf nachbarliche Blätter, sondern auf die Erde werfen, sind in breitere Zipfel gespalten und zuweilen sogar ganzrandig, die übrigen aber sind gleichmäßig zerteilt und laden auch gleichweit ringsum vom Stengel aus. Während *Thlaspi alpinum* (s. Abbildung, S. 138) mit seinen nach oben zu an Größe rasch abnehmenden ganzrandigen Laubblättern von fern gesehen den Eindruck einer Pyramide macht, ragen der Fenchel und das Dillkraut, die Kamille und der Rittersporn, deren feinzerteilte Laubblätter den ganzen Stengel entlang sich gleichbleiben, wie eine zylinderförmige Säule empor.

Auch eine Durchlöcherung der Blattflächen kommt, allerdings selten, bei manchen Aroideen vor, namentlich bei der brasilischen *Monstera egregia* und der von den Gärtnern mit Rücksicht auf die Löcher in den Blättern auch *Philodendron pertusum* genannten Pflanze. Die kreisförmigen oder elliptischen Löcher bilden sich an den oberen Blättern älterer Stöcke aus; die Blätter junger, niederer Exemplare zeigen sie nicht. Schon dieser Umstand deutet darauf hin, daß den Löchern dieselbe Bedeutung zukommt wie den tiefen Einschnitten, Spalten und Buchten zwischen den Blattlappen. Es sind Durchlässe in den breit angelegten und weithin Schatten spendenden oberen Blattflächen, durch die auch auf tiefere Blattgebilde ein Teil der schräg von obenher einfallenden Lichtstrahlen gelangen kann. Auch die sonderbaren Ausschnitte in den Flächen gewisser Blätter der Maulbeerbäume (*Broussonetia papyrifera*, *Morus nigra* usw.) und des Bittersüßes (*Solanum Dulcamara*) sind wohl ähnlich zu erklären. Man findet sie immer nur an den oberen Blättern eines Zweiges, und zwar am schönsten an aufrechten Sprossen, welche vom Grund alter Strünke üppig emporwachsen und unter dem Namen Schößlinge bekannt sind. Bald ist an diesen obersten Blättern nur an der einen Hälfte ein fast bis zur Mittelrippe gehender Ausschnitt vorhanden (s. Abbildung, S. 144), bald wieder sind beide Hälften mit tiefen Buchten versehen; ja, an den obersten Schößlingsblättern des schwarzen Maulbeerbaumes ist die Spreite manchmal durch mehrere Ausschnitte auf beiden Seiten in ziemlich schmale Zipfel gespalten. Betrachtet man solche in großer Zahl dicht nebeneinander aufgewachsene Schößlinge zur Mittagszeit, wenn sie gerade besonnt sind, so findet man auf den unteren Blättern die Schatten der oberen abgezeichnet, jeder Ausbuchtung und jedem Ausschnitt an einem gipfelständigen Blatt entspricht aber auch ein Lichtfleck auf den Blattflächen in den nächsttieferen Stockwerken, der mit der Sonnenbewegung von Stelle zu Stelle, von Blatt zu Blatt fort-rückt. Bei Bäumen mit ganzrandigen Blättern und dicht schattenden Kronen, wie z. B. den Buchen, ist eine Beschattung der tieferen Blattstockwerke nicht ausgeschlossen. Es folgt darum aber auch das Absterben der unteren Zweige und Äste als regelmäßiger Vorgang, zumal wenn die Bäume Bestände oder Wald bilden. Die dicht beschatteten unteren Äste sterben ab, verdorren, werden abgeworfen, und die Förster pflegen diesen Vorgang Astreinigung zu nennen. Damit hängt auch zusammen, daß die Stämme im geschlossenen Buchenwalde weit hinauf astlos sind und die dicht schattenden Kronen wie von Säulen getragen erscheinen.

Abgesehen von der Bedeutung, welche der Lappung, Zerteilung und Durchlöcherung höher stehender Blattspreiten für die Beleuchtung ihrer tiefer stehenden Nachbarn zukommt, tritt in vielen Fällen auch noch ein anderer Vorteil dieser Gestaltung der Blattformen hervor, nämlich die leichte Vereinigung der in einer Ebene liegenden lappigen Blattspreiten zu einem geschlossenen Blättermosaik. Durch runde oder elliptische Blattspreiten wird immer nur ein lückenhaftes Blättermosaik gebildet werden können. Dagegen eignen sich hierzu lappige und eckige, überhaupt polygonale Flächen in ausgezeichneter Weise. Besonders lehrreich ist in dieser Beziehung das Blättermosaik, das der Efeu im Waldgrunde bildet. An dem untenstehenden kleinen Bilde, welches die getreue Wiedergabe einer den Waldboden teppichartig überkleidenden Efeu-Gruppe ist, sieht man, wie sich die fünfzählig-lappigen Blätter mit der Zeit aneinander geschmiegt haben. In die Buchten der einen schoben sich die Lappen und Ecken der anderen ein, und so entstand ein Gefüge von Blättern, wie es



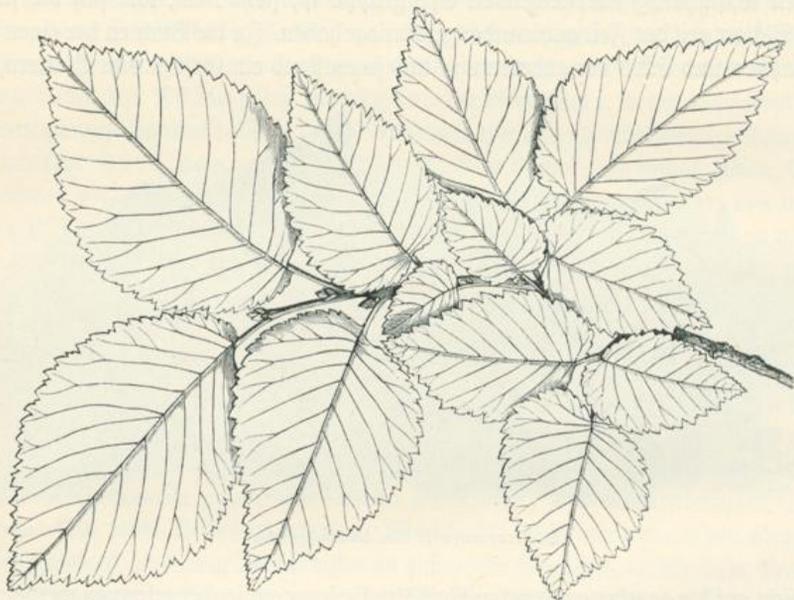
Blättermosaik: Efeu im Waldgrunde.

mit Rücksicht auf die gegebenen äußeren Verhältnisse kaum passender ersonnen werden könnte. Diesem Mosaik sieht man es wohl nicht mehr an, daß es aus Blattreihen hervorgegangen ist, die gleichmäßig die liegenden Stengel besetzen. Welche mannigfaltigen Hebungen und Senkungen, Drehungen, Verschiebungen und Verlängerungen mußten stattfinden, um aus den regelmäßigen Blattreihen ein solches Blattmosaik zu gestalten!

Der Efeu ist übrigens auch insofern interessant, als an ihm die Heterophyllie, d. h. die Mehrgestaltigkeit der Laubblätter in den verschiedenen Höhenlagen desselben Pflanzenstocdes, in recht auffallender Weise beobachtet werden kann. Nur die Blätter der kriechenden oder klimmenden, dem Waldboden, der Borke alter Bäume, den Felswänden und Mauern angeschmiegtten Sprosse zeigen den fünfzählig-lappigen Zuschnitt; die Blätter der blüten- und fruchttragenden Sprosse, die sich über die Baumstrünke, Felswände und Mauern erheben, ringsum von Licht und Luft umgeben sind und ihr Laub nach allen Richtungen der Windrose gleichmäßig entfalten können, zeigen nicht nur eine wesentlich andere Einstellung gegen das Licht, sondern auch einen anderen Zuschnitt. Sie sind nicht fünfzählig-lappig, sondern herzförmig und ganzrandig. Diese Heterophyllie der unteren und oberen Blätter an ein und demselben Pflanzenstocde kommt zwar noch bei sehr vielen anderen Pflanzen vor, entgeht aber in den meisten Fällen der Beobachtung, weil

zur Zeit, wenn sich die Laubblätter in den obersten Teilen der Pflanze entfalten, die des untersten Teiles schon abgestorben und abgefallen sind, so daß dann in der freien Natur am lebenden Stocke der Gegensatz der Gestalt nicht mehr bemerkt wird. Bei dem Efeu, dessen untere und obere Blätter immergrün und das ganze Jahr hindurch gleichzeitig zu sehen sind, fällt dagegen die Heterophyllie besonders in die Augen. Auf die Heterophyllie der Laubblätter gewisser Sumpf- und Wasserpflanzen, z. B. der Wassernuß (*Trapa natans*) und der Wasserranunkeln, wurde schon hingewiesen (S. 67f.).

An die Heterophyllie schließt sich die Asymmetrie der Laubblätter an. Während bei der Mehrzahl der Gewächse jedes Laubblatt durch eine vom Blattstiele zur Blattspitze

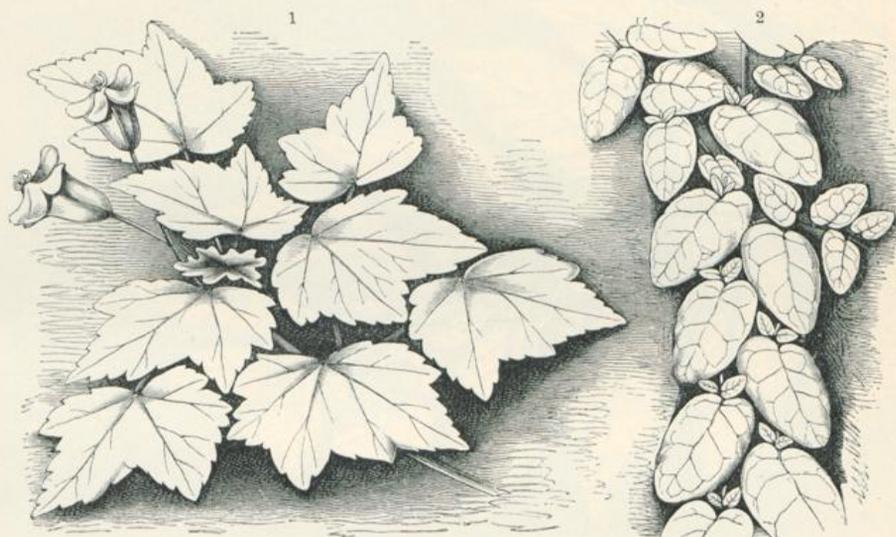


Mosaik aus ungleich großen asymmetrischen Blättern: Beklaubter wagrecht absehender Zweig einer Ulme (*Ulmus*), von oben gesehen.

hinziehende Rippe in zwei gleiche oder doch nahezu gleiche Hälften geteilt wird, sind bei den Begonien, vielen kletternden Ficus, dem Zürgelbaume, den Rüstern, den Linden und noch verschiedenen anderen Gewächsen diese beiden Hälften sehr ungleich. Die Ungleichheit betrifft vorzüglich die Basis des Blattes; es sieht so aus, als wäre ein Stück einseitig abgetrennt worden, oder als hätte man das Blatt dort schief abge schnitten (s. die Abbildungen auf dieser und der folgenden Seite). Zur richtigen Erklärung dieser Asymmetrie kommt man vielleicht am leichtesten dadurch, daß man sich die kleinere Hälfte ebenso groß und ebenso geformt denkt wie die größere. Da stellt sich heraus, daß die Ergänzungsstücke von den benachbarten Blättern überdeckt sein würden, daß sie infolgedessen des Lichtes entbehren müßten, und daß daher in diesen Teilen des Laubblattes, wenn sie vorhanden wären, die Chlorophyllkörper doch keine Tätigkeit entfalten könnten. Dann ist aber dieses Stück des Laubblattes auch überflüssig, und es liegt durchaus nicht in der Ökonomie der Pflanze, soviel Blattgewebe für nichts und wieder nichts zu erzeugen. Die Pflanze bildet selten Überflüssiges und Unnützes; bei dem Aufbau aller Teile waltet sichtlich der Grundsatz, mit möglichst wenig

Material den denkbar größten Erfolg zu erzielen und die gegebenen Verhältnisse, zumal den vorhandenen Raum, soweit wie möglich auszunutzen. Daß aber durch asymmetrische Blätter ähnlich wie durch die polygonalen Blattspalten des Efeus ein ausgezeichnetes Blättermosaik gebildet werden kann, wird durch die Abbildungen auf S. 148, 149 und 150 besser als durch Worte ersichtlich gemacht.

Zum Schlusse sei hier auch noch der Anisophyllie gedacht. Man versteht darunter die ungleiche Größe benachbarter von demselben Sproß erzeugter Laubblätter. Sie wird an Pflanzen der verschiedensten Familien und der verschiedensten Florengebiete beobachtet. Insbesondere sind es die Familien der Lycopodiaceen, Urtikaceen, Artocharpeen, Solanaceen, Gesneraceen, Akanthaceen und Melastomaceen, die eine namhafte

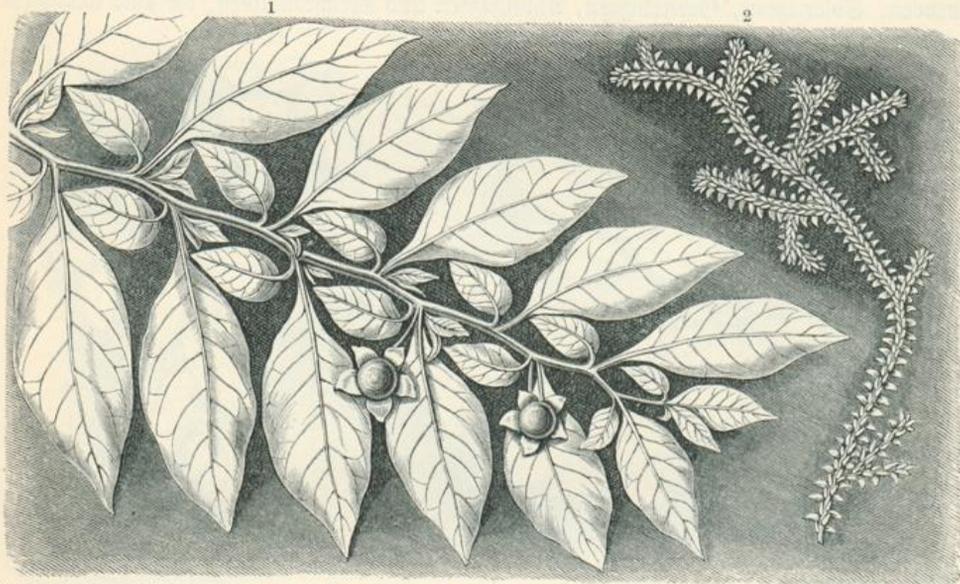


Blättermosaik aus asymmetrischen Blättern: 1 *Begonia Drogei* vor einer senkrechten Wand; 2 *Ficus scandens* an einer senkrechten Wand.

Zahl anisophyller Formen umfassen. Ostasien und das tropische Gebiet Amerikas scheinen an solchen Gewächsen besonders reich, Europa dagegen verhältnismäßig arm zu sein. Bei den zu den Bärlappen (Lycopodiaceen) gehörenden Arten der Gattung *Selaginella* (s. Abbildung, S. 150, Fig. 2) finden sich an jedem der dem Boden aufliegenden Zweige vier Zeilen kleiner grüner Blätter. Die Blätter der zwei mittleren Zeilen sind kleiner und richten ihre freien Enden nach vorn, jene der beiden randständigen Zeilen sind größer und richten ihre freien Enden nach den beiden Seiten. Sie bilden zusammen ein sehr zierliches Blättermosaik und erinnern in ihrer Gruppierung einigermaßen an die schuppenförmigen Blättchen gewisser Nadelhölzer. Denkt man sich die Blätter der zwei mittleren Zeilen von derselben Größe und Lage wie jene der beiden seitlichen Zeilen, so würden die letzteren vollständig in Schatten gestellt sein.

Viel häufiger als an liegenden Stengeln werden ungleich große nachbarliche Blätter an bogenförmigen Seitenästen hoher Staudenpflanzen getroffen. Die benachbarten Blätter des mittleren aufrechten Hauptstammes solcher Stauden sind von gleicher Größe und Gestalt, aber an den bogenförmigen langen Seitenzweigen, die mit ihrem Ende gegen den

Boden geneigt sind, wechseln größere und kleinere Blätter miteinander ab. Am häufigsten zeigen solche Blätter eine kreuzweise Stellung. Das kleinere Blatt eines jeden Blattpaares ist der Hauptachse, das größere der Peripherie des ganzen Stockes zugewendet. Diese Ausbildung zeigen insbesondere viele Arten der Nachtschattengewächse (z. B. *Atropa*, *Datura*, *Solanum*), mehrere Melastomazeen (z. B. *Medinilla farinosa*, *Octomeris macrodon*, *Sphaerogyne cinnamomea*), dann einige Urtilkazeen (z. B. *Broussonetia papyrifera* und *Boehmeria Hamiltoniana*) und zahlreiche Acanthazeen (z. B. *Goldfussia anisophylla* und *glomerata*). Bei der auf S. 144 abgebildeten *Broussonetia papyrifera* bilden die kleineren Blätter eine mittlere Zeile, während die größeren in zwei seitliche Zeilen angeordnet sind. Bei den



Mosaik aus ungleich großen Blättern: 1 absteigender Zweig einer Tollkirschenstaube (*Atropa Belladonna*), von oben gesehen; 2 *Selaginella Helvotica*, von oben gesehen.

Solanazeen, z. B. bei dem obenstehend abgebildeten Seitenzweige der Tollkirsche (*Atropa Belladonna*), sind die Blätter nicht kreuz-, sondern wechselständig. Die größeren Blätter stehen in zwei Reihen und lassen zwischen sich in der Nähe des Stengels Lücken offen, die aber als Lichtdurchlässe für andere, tieferstehende Blätter nicht in Frage kommen, weil solche fehlen. In diese Lücken schalten sich nun kleinere grüne Blätter ein, welche als Deckblätter der Blüten- beziehentlich der Fruchtblände bezeichnet werden, in ihrer Funktion aber mit den großen Laubblättern ganz übereinstimmen. Diese kleinen Blätter drehen und wenden sich so lange, bis jedes genau in die Mitte einer Lücke zu liegen kommt, wo sie weder eines der großen Blätter beeinträchtigen, noch auch selbst von diesen beeinträchtigt werden. Ein ganz ähnliches Einschleichen kleinerer Blätter in die Lücken zwischen die großen Laubblätter beobachtet man auch an dem Stechapfel und mehreren anderen Nachtschattengewächsen. Bemerkenswert ist, daß bei mehreren hierhergehörigen staudenförmigen Gewächsen, so namentlich bei den Acanthazeen, nur die seitlichen bogenförmigen Äste Anisophyllie zeigen, während der mittlere aufrechte Hauptstamm gleichgroße Blätter aufweist.

Daß die Anisophyllie mit der Beleuchtung im Zusammenhang steht, kann demnach

wohl nicht bezweifelt werden, aber es ist nicht ausgeschlossen, daß derselben auch noch eine zweite, vielleicht auch noch eine dritte Bedeutung zukommt. Bei der zu den Ananthazeen gehörenden *Goldfussia anisophylla* schieben sich unter die größeren breiteren Blätter kleine blütentragende Zweiglein, und jede der blauen Blüten an diesen Zweiglein erscheint von einem grünen Blatte wie von einem Schirm überdacht, der die Aufgabe hat, den Anprall der Regentropfen von den ungemein zarten Blumenkronen abzuhalten. Man kann allerdings die Frage aufwerfen, warum dergleichen für die betreffende Pflanze vorteilhafte Einrichtungen durch die Anisophyllie und nicht durch andere einfachere und gewöhnlichere Ausbildungen zustande kommen. Diese Frage zu beantworten ist nicht Aufgabe dieses Buches. Hier handelt es sich um die Beschreibung der Gestalt der einzelnen Pflanzenglieder und um die mutmaßliche Bedeutung dieser Gestalt für das Leben der betreffenden Pflanze. Die Eigentümlichkeit der erblichen Gestalt wird aber nicht durch die äußeren, auf die Pflanze einwirkenden Verhältnisse des Lichtes, der Wärme, der Feuchtigkeit usw. bedingt, sondern durch die ererbten Eigenschaften der betreffenden Art begründet. Die Anisophyllie ist gerade so wie die Heterophyllie und die Asymmetrie der Blätter eine besondere Eigentümlichkeit, welche sich in der Nachkommenschaft unveränderlich erhält. Aus den Samen einer Ananthazeen, Gesneriaseen usw. mit anisophyllen Blättern gehen immer wieder Individuen hervor, welche, gleichwie ihre Eltern, entweder an allen oder an den seitlichen Sprossen ungleiche Blätter tragen. An mehreren Gesneriaseen, wie namentlich an *Streptocarpus*, zeigen schon die Keimlinge eine ausgesprochene Anisophyllie.

5. Schutzeinrichtungen gegen zu starke Beleuchtung.

Wohl ist das Licht der Sonne die eigentliche Lebensquelle aller grünen Pflanzen; wir wundern uns nicht, zu sehen, daß alle sich zum Lichte drängen, und wir begreifen sehr gut die Zweckmäßigkeit der in dem vorangehenden Abschnitte geschilderten Einrichtungen. Dennoch können wir uns vorstellen, daß auch das natürliche Licht in einigen Fällen in seiner vollen Stärke schädigend wirken kann und Schutzmaßregeln gegen zu starke Beleuchtung geboten sind. Haben wir doch schon früher erfahren, daß das Bedürfnis mancher Pflanzen, wie der Schattenpflanzen, nach Licht weniger groß ist. Die volle strahlende Helligkeit der Sonne, wie sie in wolkenarmen Jahreszeiten in Erdgebieten mit hohem Sonnenstande, vor allem den Tropen, vorhanden ist, kann besonders deshalb ein zu reiches Maß der Beleuchtung darstellen, weil überhaupt nur ein verhältnismäßig kleiner Teil der Strahlenergie, welche unsere Erde trifft, vom Chlorophyll zur Assimilationstätigkeit benutzt werden kann. Beobachtungen ergaben, daß zu helle Sonnenbestrahlung das Chlorophyll sogar zerstören kann. Mag sich nun auch das Ertragen hellster Beleuchtung bei den verschiedenen Pflanzen ganz verschieden gestalten, so zeigen ganze Gruppen auffallende Einrichtungen, durch die sie gegen ein Übermaß von Helligkeit geschützt werden.

Am auffallendsten ist ein rascher Stellungswechsel der Blätter bei Zu- oder Abnahme der Beleuchtung bei vielen mit gefiederten Blättern begabten Pflanzen. Beobachten wir die Blätter unserer verbreiteten sogenannten Akazie (*Robinia*) im hellen Tageslichte, so sind die Teilblättchen, von der Mittelrippe ausstrahlend, ganz flach ausgebreitet. Treffen Sonnenstrahlen die Blätter, so beginnen sie sich alle in gleichen Winkeln nach abwärts zu neigen, so

daß nun die Strahlen schief auf die Blättchen fallen. Entsprechend der während eines Tages mehrfach wechselnden Beleuchtung wechselt auch die Stellung der Blättchen vielfach zwischen horizontaler und schiefer Lage.

Für diese Bewegungen finden sich am Grunde der betreffenden Teilblättchen und manchmal auch an der Basis der gemeinsamen Blattstiele eigentümliche saftreiche Zellgewebe von meist walzenförmigem Ansehen, die man mit dem Namen Blattgelenke belegt hat, und die sich häufig wie kurze, dicke Blattstielen ausnehmen. Jedes Gelenk besteht aus parenchymatischen, dünnwandigen Zellen, und diese umgeben einen Strang aus zusammengedrängten Gefäßbündeln, welcher in seinem weiteren Verlaufe zur Mittelrippe



Amicia Zygomeris bei ausreichender Sonnenbeleuchtung.

des dem Gelenk aufsitzenden Teilblättchens wird. Soweit dieser Strang von dem Gelenk umgeben ist, sind seine Teile geschmeidig, sehr biegsam und nicht verholzt, darüber hinaus verliert er diese Eigenschaften, wird steif und fest und bildet gleichsam den Grundpfeiler des ganzen Blättchens, so daß jede Lageänderung der Mittelrippe von dem ganzen Blättchen mitgemacht werden muß. Sehr leicht sind die Bewegungen bei der auf den Anden von Bolivia bis Mexiko wachsenden, in botanischen Gärten bei uns gezogenen hübschen Papilionazee *Amicia Zygomeris* zu beobachten. Hier genügt schon ein geringer Wechsel der Beleuchtung, um die Bewegung der Blättchen durch ihr Gelenk in kürzester Zeit vor sich gehen zu sehen. Sind die Blätter bei guter Tagesbeleuchtung flach ausgebreitet (s. nebenstehende Abbildung), so drehen sie sich, wenn die Sonne stärker zu scheinen beginnt, an ihren Gelenken

so, daß sie die Ranten des Blattes dem Licht zuwenden und die Strahlen nun an ihnen zum Teil vorbeigehen (s. die Abbildung, S. 153). Man sieht diese Stellung namentlich gut an den Blättern rechts an der abgebildeten Pflanze.

Bei unbeweglichen oder wenig beweglichen Blättern kann eine Haarbedeckung die übermäßige Bestrahlung mildern. Man hat ferner auch das Anthoxyan, den roten Farbstoff, den die Oberhaut mancher Blätter enthält, wodurch sie dann rot oder violett erscheinen, als einen Schutz und Schirm gegen zu starke Bestrahlung angesehen.

Besonders hat man in dieser Beziehung auf das Verhalten der Blätter des Pfeffer- oder Bohnenkrautes (*Satureja hortensis*) hingewiesen. Die im Sonnenlicht aufgewachsenen Stöcke dieser Pflanze enthalten in ihren Oberhautzellen einen violetten Farbstoff, wie Fig. 16 der Tafel bei S. 22 zeigt. Bevor der Sonnenstrahl zu den Chlorophyllkörpern der grünen Zellen in der Mitte des Blattes gelangt, muß er diese mit violetter Saft erfüllen

Hautzellen passieren und wird hier so abgedämpft, daß ein nachteiliger Einfluß auf die Chlorophyllkörper verhindert werden könnte. Je intensiver das Licht, dem man diese Pflanze aussetzt, desto reichlicher wird der violette Farbstoff in den Hautzellen entwickelt. Wachsen die Stöcke des Bohnenkrautes an schattigen Stellen, so erscheinen deren Blätter oberseits grün, und es sind in den Hautzellen kaum Spuren des violetten Farbstoffes zu entdecken. Bekanntlich wirken die Sonnenstrahlen in der Alpenregion noch viel kräftiger als im Tal, und es ist zu erwarten, daß sich dort die Blätter der aufsteigenden und wachsenden Pflanzen noch dunkler als an den Kulturstätten im Tale färben. Um dies zu erproben, wurden die Samen des Bohnenkrautes in einem nahe der Kuppe des Blasers bei Trins in Tirol in der Seehöhe von 2195 m angelegten alpinen Versuchsgarten kultiviert. In der Tat entwickelte sich dort schon in den Keimblättern, noch mehr in der herangewachsenen Pflanze der Farbstoff in außerordentlich großer Menge, ja die Stengel und Blätter erschienen geradezu dunkel braunviolett gefärbt. Neben dem Bohnenkraut wurde in dem oben erwähnten alpinen Versuchsgarten auch der Lein (*Linum usitatissimum*) ausgesät, eine Pflanze, welche das direkte Sonnenlicht ganz gut verträgt und im Tale sowie



Amicia Zygomeris bei hellster Sonnenbeleuchtung. (Zu S. 152.)

in der Ebene an sonnigen Stellen am besten gedeiht. Aber das Licht der alpinen Region war den aufsteigenden Leinpflanzen doch zu grell, die Blätter wurden gelblich, das Chlorophyll in ihnen wurde zerstört, und die Pflänzchen gingen zugrunde. Der Lein hat eben nicht die Fähigkeit, in seinen Laubblättern den blauen Farbstoff zu erzeugen. Eine Beziehung der Farbstoffbildung zum Licht ist also offenbar vorhanden. Doch sind diese Beobachtungen und Versuche, bei denen man die Entstehung des Farbstoffes bei beleuchteten Pflanzen beobachtete, während sie bei beschatteten unterblieb, nicht so einwandfrei, d. h. unter sonst konstanten Bedingungen angestellt, daß man der Auffassung des Anthoxyans als eines Lichtschutzes ohne neue Untersuchungen beitreten könnte. Eine Tatsache, die zu der Auffassung des Anthoxyans als Lichtschutz nicht stimmt, ist, daß sich die rote Färbung sehr häufig an der nicht beleuchteten Unterseite von Blättern findet und an der Oberseite auch bei Pflanzen auftritt, die im Dunkel der Urwälder wachsen.

IV. Die Pflanze und das Wasser.

1. Die Bedeutung des Wassers für die Pflanze.

Bei dem Aufbau der Moleküle des Zuckers, der Stärke, des Zellstoffes, der Fette, Säuren und der eiweißartigen Verbindungen, also aller wichtigen Stoffe, aus denen die Pflanze besteht, haben sich die Atome des Wassers als Bausteine einzufügen, und es könnte ein Wachstum der Pflanze, eine Zunahme ihrer Masse, ohne Wasser gar nicht stattfinden. Von diesem Gesichtspunkt aus ist das Wasser so gut wie das Kohlendioxyd der Luft als ein unumgänglich notwendiger Nährstoff der Pflanze zu bezeichnen. Das Wasser spielt aber im Pflanzenleben auch noch eine andere wichtige Rolle. Die mineralischen Nährsalze, welche den Wasserpflanzen und Erdpflanzen, sowie die organischen Verbindungen, welche den Schmarogern als Nahrung dienen, können nur mit Hilfe des Wassers in die Pflanze aufgenommen werden. Sie können auch die Zellwand nur passieren, wenn diese mit Wasser getränkt ist, und sie können endlich im Inneren der Pflanze zu den Stellen des Verbrauches wieder nur durch Vermittelung des Wassers hingeführt werden. Bei diesen Arbeitsleistungen in der lebendigen Pflanze ist das Wasser als Betriebsmittel aufzufassen. So wie die Mühle am Bache nur so lange arbeitet, als ihre Räder durch das Wasser in Bewegung gesetzt werden, und sofort stillsteht, wenn das Wasser fehlt oder nicht mehr in genügender Menge zufließt, ebenso ist die Pflanze nur so lange arbeits- und leistungsfähig, als ihr die nötige Wassermenge zur Verfügung steht; die Ernährung, das Wachstum und die anderen Lebensvorgänge hören auf, sobald in den kleinen Werkstätten, die wir Zellen nennen, das nötige Nutzwasser ausbleibt. Dieses Nutzwasser oder Betriebswasser wird nicht chemisch gebunden gleich jenem, das als Nährstoff eintritt, und wird überhaupt nicht dauernd zurückbehalten. Man muß sich vielmehr vorstellen, daß die lebende Pflanze von ihm während der ganzen Vegetationszeit durchströmt wird. Im Lauf eines Sommers passieren Wassermengen durch jede lebende Pflanze, welche das Gewicht derselben um das Vielfache übertreffen. Im Vergleich zu dem Betriebswasser ist der Betrag desjenigen Wassers, welches in den organischen Verbindungen eines Pflanzenstockes chemisch gebunden wird, sehr gering, und es ist daher begreiflich, daß in einer Pflanze das Gewicht des Betriebswassers größer ist als sämtliche andere Stoffe zusammengenommen.

Da in trockener Luft das Betriebswasser aus den Pflanzen verdunstet, und da man es auch durch Alkohol und verschiedene andere Mittel leicht entziehen kann, so genügen sehr einfache Versuche, um sich von der großen Masse des Nutzwassers in jeder Pflanze eine

Vorstellung zu machen. Wenn man Beeren, fleischige Pilze, saftreiche Blätter und dergleichen in Alkohol legt, so zeigen sie nach kurzer Zeit kaum noch die Hälfte des Umfanges, den sie frisch besessen hatten. Manche gallertige Pilze (Tremellineen) enthalten 98 Proz. Wasser; ein Nostoc, welcher frisch 2,224 g wog, wog nach dem Austrocknen nur noch 0,126 g, enthielt daher lebend über 94 Proz. Wasser. Torfmoos, das frisch ein Gewicht von 25,067 g zeigte, besaß ausgetrocknet nur noch 2,535 g, enthielt daher 90 Proz. Wasser, und ähnlich verhält es sich auch mit saftreichen Blättern und Stengeln von Blütenpflanzen sowie mit den Früchten der Kürbisse und unzähliger anderer Gewächse. Verhältnismäßig am wenigsten Wasser enthalten ausgereifte Samen, feste, steinharte Samenschalen, Holz und Borke; aber auch für diese wurde immer noch ein mittlerer Gehalt von 10 Proz. an Wasser nachgewiesen. Man darf aus den mitgetheilten Wägungen wohl schließen, daß die meisten frischen Pflanzenteile nur zu einem Drittel aus Trockensubstanz, zu zwei Dritteln aber aus Betriebswasser, das beim Austrocknen in Dampfform in die umgebende Luft übergeht, bestehen.

Aus alledem geht aber hervor, daß den Pflanzen das Wasser unbedingt notwendig, daß es als Transportmittel mineralischer und organischer Stoffe unentbehrlich, und daß das Bedürfnis aller Pflanzen nach Wasser ein sehr großes ist. Weiter aber läßt sich auch noch folgern, daß die Zufuhr und Abfuhr desselben pünktlich geregelt sein muß, wenn nicht die Ernährung gestört und die Entwicklung gehindert sein soll.

Am einfachsten ist die Wasseraufnahme jedenfalls bei den Wasserpflanzen. Sie fällt hier mit der Aufnahme der anderen Nährstoffe zusammen, und es ist daher den schon früher gemachten Mitteilungen (S. 65) auch nichts Wesentliches beizufügen.

In betreff der Erdpflanzen und Epiphyten kann insofern, als diese das Wasser zugleich mit den Nährsalzen durch Saugzellen aus der Unterlage, der sie anhaften, und dem Boden, in welchem sie wurzeln, aufsaugen, gleichfalls auf schon Gesagtes (vgl. S. 71 ff.) verwiesen werden. Ehe wir uns mit der Bewegung des durch die Wurzeln aufgenommenen Wassers in der Pflanze befassen, mögen noch einige besondere Fälle geschildert werden, in denen die Aufnahme des Wassers auch aus der Atmosphäre geschehen kann.

2. Die Vorrichtungen zur regelmäßigen Aufnahme von Wasser aus der Luft durch wasserabsorbierende Organe.

Man kann die Gewächse, welche das Wasser unvermittelt aus der Atmosphäre aufnehmen, mit Rücksicht auf die Einrichtungen, durch welche sie hierzu befähigt werden, in mehrere Gruppen zusammenstellen. Unter allen Pflanzen sind die Flechten am meisten auf das atmosphärische Wasser angewiesen. Viele derselben, zumal die Bartflechten, die von abgedorrten Baumzweigen herabhängen, ebenso die Gallert-, Krusten- und Strauchflechten, welche an Felsklippen und Steinblöcken haften, decken in der That ihren ganzen Wasserbedarf aus der Atmosphäre, und zwar nicht nur durch Aufnahme von flüssigem, sondern auch von dunstförmigem Wasser, was besonders für jene Arten, die an einschüssigen Felsen und an der unteren Seite überhängender Steinplatten vorkommen, von größter Wichtigkeit ist. Zu solchen Stellen können Regen und Tau nicht direkt, sondern nur dadurch hingelangen, daß sich etwas Wasser von den oberen und seitlichen benetzten Flächen der

Felsen an die einschüssige Wand hinabzieht, was nur selten der Fall ist. Die an solchen Stellen vorkommenden Flechten leben daher fast ausschließlich von dem Wasser, welches dunstförmig in der Luft enthalten ist.

Es sind aber die Flechten auch vorzüglich geeignet, dunstförmiges Wasser aus der Luft zu absorbieren. An der Luft trocken gewordene lebende Flechten nehmen, in dunstgesättigten Raum gebracht, innerhalb zweier Tage 35 und nach sechs Tagen bis zu 56 Prozent Wasser auf. Tropfbarflüssiges Wasser wird natürlich noch viel rascher aufgenommen. Die nach lang anhaltendem trockenem Wetter becherförmig aufgestülpten Gyrophoren, von einfallendem Regen benetzt, schwellen binnen zehn Minuten an, breiten sich flächenförmig über die Felsblöcke aus und haben in diesem kurzen Zeitraume 50 Prozent Wasser aufgesogen. Freilich gilt dann auch „Wie gewonnen, so zerronnen“. Tritt trockene Witterung ein, so geht das Verdampfen des Wassers aus dem Flechtentkörper ebenso rasch vonstatten wie früher das Aufsaugen, und die Flechten der Tundra, welche, vom Regen benetzt, einen weichen, schwellenden Teppich bilden, können im Sonnenschein in wenigen Stunden so stark austrocknen, daß sie unter dem Fußtritte wie dürres Gestrüpp splintern und bei jedem Schritte, den man über die Tundra macht, ein knirschendes Geräusch hörbar wird.

Durch die Fähigkeit, das Wasser der Atmosphäre aufzunehmen, sind Laub- und Lebermoose am meisten bemerkenswert, und zwar vorzüglich diejenigen, welche sich an der Borke von Baumstämmen und an den Flächen der Felsen angesiedelt haben, z. B. *Frullania dilatata* und *Radula complanata*, und dort, häufig mit Flechten durchspickt und verwoben, teppichartige Überzüge bilden. Gleich den Flechten können diese Laub- und Lebermoose wochenlang ausgetrocknet wie tot verharren, sogleich aber ihre Lebenstätigkeit fortsetzen, wenn ihnen Regen und Tau zugeführt wurden, oder wenn die Luft durch Nebelbildung so feucht ist, daß aus dieser der Bedarf an dem nötigen Betriebswasser gedeckt werden kann. Manche Lebermoose, die an der Oberfläche Luftkammern mit chlorophyllhaltigen Zellreihen tragen, wie die *Marchantia*-Arten, sind zwar nicht benetzbar und beziehen ihr Wasser durch zahlreiche Rhizoiden. Dafür sind aber die meisten anderen Lebermoose mit Einrichtungen versehen, das Wasser festzuhalten. Durch umgebogene Blattanhänge, Öhrchen genannt, durch schuppenförmige Nebenblätter oder *Amphigastrien* und durch sackartige Anhänge entstehen Räume, in denen Tau oder Regenwasser kapillar festgehalten wird. Viele Moose absorbieren das Wasser mit der ganzen Oberfläche ihrer Blättchen, andere, wie z. B. die an den Schieferfelsen haftenden grauen Steinmoose (*Racomitrien* und *Grimmien*), vorzüglich mit den lang ausgezogenen haarförmigen Zellen an der Spitze der Blättchen, wieder andere nur mit den Zellen an der oberen schalen- oder rinnenförmigen Blattseite. Das mit weichen Rasen die Kalkblöcke überziehende Moos *Hypnum molluscum*, nach einer regenlosen Woche vom trockenen Felsen abgelöst und in dunstgesättigten Raum gebracht, hatte dort nach zwei Tagen 20, nach sechs Tagen 38 und nach zehn Tagen 44 Prozent Wasser aus der Luft aufgenommen.

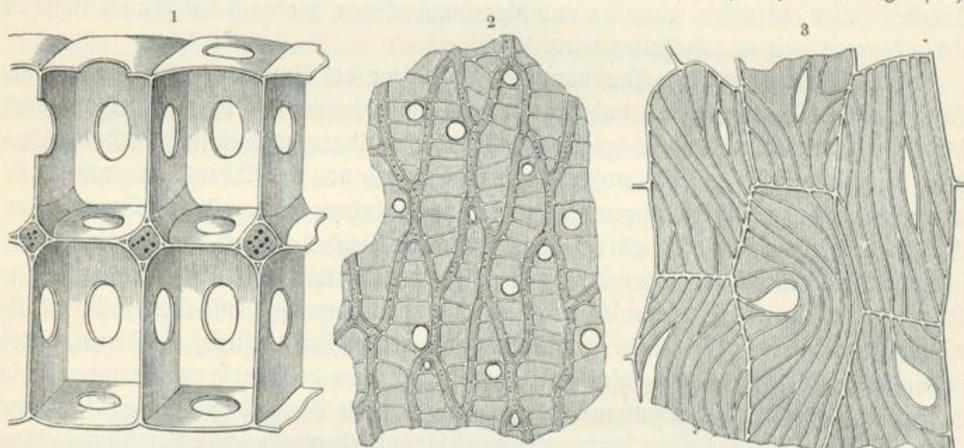
Bei einigen Bartmoosen (*Barbula aloides*, *rigida* und *ambigua*) finden sich auf der oberen Blattseite dicht zusammengedrängte, senkrecht auf der Blattfläche stehende Ketten von tonnenförmigen Zellen, die dem freien Auge als ein schwammiger, dunkelgrüner Wulst erscheinen. Die letzten Zellen dieser kurzen, perlenkettenförmigen Ketten sind an ihrer nach oben gekehrten Wand stark verdickt, die anderen Zellen aber sind sehr dünnwandig und nehmen rasch Wasser auf. Ähnlich verhält es sich mit den Widertonmoosen (*Polytrichum*-Arten);

an ihrer oberen Blattseite finden sich parallele Längsleisten, die bei Benetzung das Wasser kapillar festhalten und mit ihren dünnwandigen Zellen leicht aufnehmen. Eine wichtige Rolle spielen bei diesen Vorgängen auch die Rhizoiden, jene braun gefärbten, langgestreckten, dünnwandigen Zellen, welche, gewöhnlich dicht verfilzt, die Stengel mancher Moose ganz einhüllen, auch an der unteren Blattseite angetroffen werden und bei einigen tropischen Arten sonderbarerweise auch an der Spitze der Blättchen in Gestalt kleiner Büschel erscheinen. Dieser Rhizoidensfilz kommt mit dem Erdreiche, den Felsen oder der Borke häufig gar nicht in Berührung, wird nur von Luft umspült und vermag den Tau wie ein Tuchlappen oder wie Löschpapier aufzusaugen. Bei trockenem Wetter verlieren zwar die Moose das Wasser, ähnlich wie die Flechten, aber die Abgabe erfolgt hier doch weit langsamer, was vorzüglich dadurch bedingt ist, daß sich die Moosblättchen bei beginnender Trockenheit falten, vertiefen, einrollen und übereinanderlegen, wodurch das Wasser zwischen ihnen längere Zeit zurückgehalten wird.

Eine sehr merkwürdige Einrichtung zur Aufnahme des Regenwassers zeigen auch die Weißmoose (*Leucobryaceae*) und Torfmoose (*Sphagnaceae*). Obwohl sie Chlorophyll führen und unter dem Einflusse des Sonnenlichtes assimilieren, machen sie beinahe den Eindruck von chlorophyllosen Scharogerpflanzen. Sie sind von weißlicher Farbe, und da sie immer in großen, polsterförmigen Rasen wachsen, entbehren die von ihnen überwucherten Stellen des frischen Grüns und heben sich durch ihr bleiches Kolorit von der Umgebung schon von fern deutlich ab. Die mikroskopische Untersuchung klärt diese Erscheinung auf. Die Zellen, deren Protoplasten lebendig und tätig sind und Chlorophyll enthalten, sind verhältnismäßig klein und zwischen anderen vielmals größeren Zellen versteckt, aus denen, wenn sie einmal vollständig ausgewachsen sind, das Protoplasma vollständig verschwunden ist, so daß sie die bleiche Farbe der ganzen Pflanze bedingen. Die Wand dieser großen, farblosen Zellen ist sehr dünn und bei den Torfmoosen durch schraubig herumlaufende Verdickungsleisten ausgespannt und gegen das Zusammenfallen gesichert. Wenn sie sich einige Zeit in trockener Umgebung befanden, sind sie nur mit Luft erfüllt; befeuchtet füllen sie sich im Augenblick mit Wasser an. Wäre im Inneren ein saugender Protoplast tätig, so könnte bei der Zartheit der Zellwand das Wasser wie bei anderen Moosen durch diese leicht benetzbare Wand hindurch in den Zellraum gelangen. Die Luft, welche die Zellen erfüllt, wirkt aber nicht saugend, und das Wasser gelangt bei den Weißmoosen und Torfmoosen auch nicht infolge chemischer Affinität des Zellinhaltes, sondern durch Kapillarwirkung in das Innere der Zellen.

Dieses ungemein rasche Eindringen von Wasser in einen luftgefüllten Raum läßt nun freilich voraussetzen, daß sich in der Wand jeder Zelle mehrere Poren befinden, und daß in dem Maße, als durch eine der kleinen Öffnungen Wasser eindringt, durch eine andere die Luft ebenso rasch entweichen muß. Und so ist es auch. Die großen Zellen sind nicht nur an ihren Außenwandungen, sondern auch unter sich durch Poren in Verbindung, und das Wasser dringt wie in einen Badeschwamm von der einen Seite ein, während zugleich die Luft an der anderen Seite hinausgedrängt wird. Sehr zierlich nimmt sich diese Saugvorrichtung bei dem in manchen Wäldern an trockenen Stellen häufigen Weißmoose (*Leucobryum*) aus. Hier sind, wie die Abbildung, S. 158, Fig. 1, zeigt, die benachbarten prismatischen Zellen durch sehr regelmäßige, kreisrunde, die Mitte der Grenzwand durchbrechende Löcher miteinander verbunden, während bei den Torfmoosen (*Sphagnum*) die Löcher weniger regelmäßig, bald dort, bald da an den Zellwänden zwischen den Verdickungsleisten

sichtbar werden (s. untenstehende Abbildung, Fig. 2). Diese porösen Zellgruppen besitzen nun bei den Weißmoosen nicht nur die Fähigkeit, tropfbar-flüssiges Wasser rasch aufzunehmen, sondern auch festzuhalten. Bei den Torfmoosen dagegen geben sie es sehr leicht wieder ab; da die Sphagnum-Arten aber meistens in Wasserlachen der Moore wachsen, so saugen sie dadurch um so mehr das Wasser aus dem Untergrund nach oben und bleiben immer naß. Daß die früher erwähnten chlorophyllhaltigen Zellen, die zwischen den großen, durchlöcherichten Zellen eingebettet liegen, das von diesen letzteren gewonnene Wasser aufnehmen, oder, vielleicht besser gesagt, daß die großen, durchlöcherichten Zellen das Wasser für diese grünen, lebendigen Zellen aufsaugen, bedarf wohl keiner näheren Begründung. Aber mit dem Wasser werden ihnen auch die Nährsalze zugeführt, und da das Wasser der Moore sehr arm an Salzen ist, so wird die ausgiebige Verdunstung der Torfmoose besonders begreiflich.



Poröse Zellen: 1 vom Weißmoos (*Leucobryum*), 550fach vergrößert, 2 vom Torfmoos (*Sphagnum*), 230fach vergrößert, 3 von einer Orchideenwurzel (*Laella gracilis*), 310fach vergrößert. (Zu S. 157–159.)

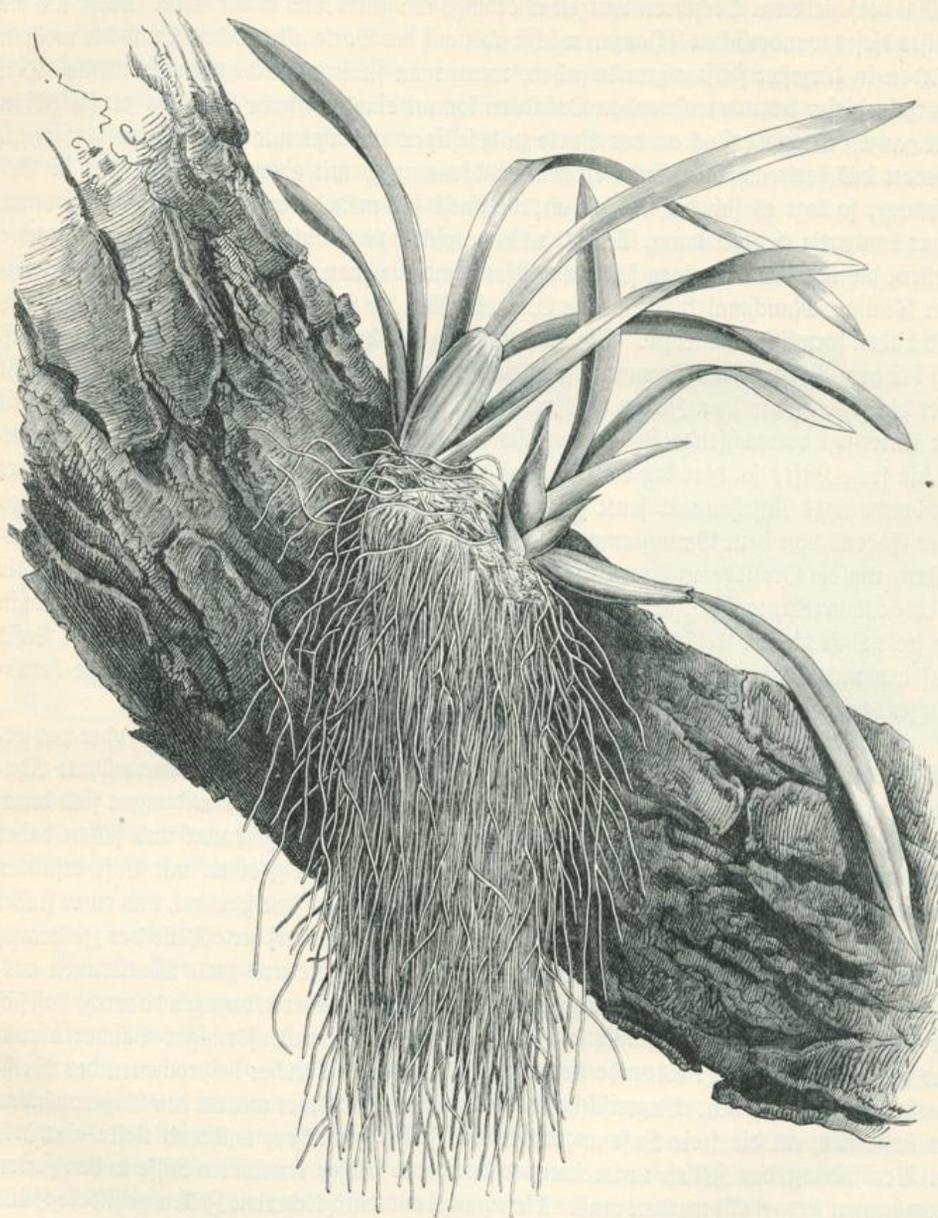
So viel scheint gewiß, daß die großen, porösen Zellen im luftgefüllten Zustand ein Schutzmittel gegen zu weit gehendes Vertrocknen der kleinen, lebendigen Zellen und dann auch ein Schutzmittel für das Chlorophyll der kleinen Zellen abgeben, auf welchen Umstand später noch mehr zurückgekommen werden soll.

Mehrere Farnwedel, z. B. jene von *Polypodium vulgare*, *Asplenium Trichomanes*, *Ruta muraria* und *septentrionale*, rollen ihre Lappen nach lange anhaltender Trockenheit der Luft und des Bodens ein oder schlagen die Ränder zurück, drehen und falten sich, so daß sie nicht nur welk, sondern vollständig abgestorben zu sein scheinen. Bei Regenwetter nehmen sie aber in kürzester Zeit Wasser auf, ihre Zellen werden wieder prall, die Falten glätten sich, und die Lappen sowie die Spindel der Wedel erhalten wieder die Stellung und Lage, welche sie vor der Trockenperiode eingenommen hatten. Diese Farnwedel sind an ihrer ganzen Oberfläche benetzbar und können mit allen Oberhautzellen tropfbar-flüssiges Wasser aufnehmen, ja, es ist sogar nachgewiesen, daß sie im trockenen Zustand, ähnlich wie die Moose, aus der feuchten Luft Wasserdampf absorbieren. Bei anderen Farnen sind die Wedel nur an bestimmten Stellen benetzbar, dementsprechend auch die Wasseraufnahme beschränkter ist. So wird z. B. bei *Aspidium Lonchites* und *Blechnum Spicant* das Wasser nur durch jene Teile der Oberhaut aufgenommen, welche über den Gefäßbündeln liegen.

Einige Ähnlichkeit mit den Weißmoosen und Torfmoosen zeigen in betreff der Wasseraufnahme auch mehrere Aroideen und Orchideen. Von den bisher bekanntgewordenen 10000 verschiedenen Orchideen wurzelt allerdings ein guter Teil in der Erde. Mehr als die Hälfte dieser wunderlichen Pflanzen wächst aber auf der Borke alter Bäume, und die meisten würden in kürzester Frist zugrunde gehen, wenn man sie in die Erde pflanzen wollte. Den Wurzeln dieser baumbewohnenden Orchideen kommt eine zweifache Aufgabe zu: sie haben den ganzen Orchideenstock an der Borke zu befestigen und ihn mit Nahrung zu versorgen. Kommt das fortwachsende Ende einer Orchideenwurzel mit einem festen Körper in Berührung, so legt es sich diesem fest an, verflacht sich mehr oder weniger, wird mitunter sogar handartig (s. Abbildung, S. 341) und entwickelt papillenförmige oder schlauchförmige Zellen, die mit der Unterlage fest verwachsen, und die man füglich als Haftzellen bezeichnen könnte. Manchmal kriechen diese Wurzeln über die Borke hin, teilen sich, kreuzen sich und bilden förmliche Geslechte. Die Verwachsung mit der Unterlage ist eine so innige, daß sich bei dem Versuche der Trennung gewöhnlich die oberflächlichsten Teile der Borke, nicht aber die schlauchförmigen Zellen ablösen. Gelangt nun eine Wurzel, welche derartige mit der Unterlage verwachsene Zellen ausgesandt hatte, über den Rand der Unterlage hinaus in die freie Luft, so hört die Entwicklung von Haftzellen sofort auf; die Wurzel verliert ihr bandartiges Ansehen und senkt sich in Gestalt eines wellig gebogenen, weißen Stranges oder Fadens von dem Baumstamme herab. In der Regel genügen einige wenige Wurzelfasern, um die Orchidee an ihrer Unterlage, der Borke des Baumes, zu befestigen, und die anderen Wurzeln, welche noch von der Pflanze ausgehen, wachsen gleich vom Anfang an in die freie Luft hinein. Nicht selten sind sie in großer Zahl zusammengedrängt an der Basis zu sehen und bilden dann förmliche Mähnen, die von der dunkeln Borke der Äste herabhängen, wie das an der Abbildung eines *Oncidium* auf S. 160 zu sehen ist.

Jede dieser Luftwurzeln ist nach außen zu mit einer weißen, pergament- oder papierartigen Hülle umgeben, und die Zellen dieser Hülle sind es, welche die obenerwähnte Ähnlichkeit mit den Zellen der Weißmoose und Torfmoose haben. Ihre Wandungen sind durch schmale, leistenförmige, schraubig verlaufende Verdickungen ausgespannt und fallen daher trotz ihrer Zartheit und trotz des Umstandes, daß sie zeitweilig einen mit Luft erfüllten Raum umschließen, nicht zusammen; sie sind aber auch vielfach durchlöchert, und zwar findet man Löcher von zweierlei Art. Die einen entstehen dadurch, daß jene Teile der Zellwand, welche zwischen den rippenartigen Leisten als äußerst dünne und zarte Membranen ausgespannt sind, zerreißen (s. Abbildung, S. 158, Fig. 3), die anderen dagegen dadurch, daß sich die Haut papillenartig vorgewölbter Zellen in Gestalt schraubenförmiger Bänder abrollt und ablöst, wobei dann kreisrunde Löcher entstehen, die den früher besprochenen der Weißmoose sehr ähnlich sehen. Begreiflicherweise können diese Löcher nur an den Außenwänden der äußersten, an die freie Luft angrenzenden Zellen entstehen, während tiefer einwärts die Verbindung der Zellen untereinander durch die früher erwähnten Risse in den zarten Membranen hergestellt werden muß. Diese ganze aus durchlöchernten Zellen gebildete Hülle der Luftwurzeln (das Velamen) aber hat das Ansehen eines Badeschwammes und wirkt auch wie ein solcher. Kommt sie mit tropfbar-flüssigem Wasser in Berührung, wird sie insbesondere von atmosphärischen Niederschlägen genetzt, so saugt sie sich augenblicklich voll Wasser. Die tieferliegenden lebendigen, grünen Zellen der Wurzel sind dann von einer wasserstrogenden Hülle umgeben und können aus dieser auch leicht die nötige Menge von Wasser gewinnen.

Aber auch die Fähigkeit, Wasser in Nebelform anzuziehen, kommt diesen Wurzelhüllen zu. Die Luftwurzeln von *Oncidium sphacelatum*, aus trockener in feuchte Luft



Luftwurzeln einer auf der Borke eines Baumastes angehefteten Orchidee. (Zu S. 159.)

gebracht, nehmen innerhalb 24 Stunden etwas über 8 Prozent ihres Gewichtes an Wasser auf, die des *Epidendrum elongatum* 11 Prozent, und bei manchen anderen tropischen Orchideen ist diese Aufnahme gewiß noch viel bedeutender.



Tropische Scheinschmarözer (Ceylon).
Nach Aquarell von H. v. Königsbrunn.

Diese Fähigkeit, atmosphärische Niederschläge unmittelbar aufzunehmen, ist für die Pflanzen von größter Wichtigkeit. Die feuchte Baumrinne, welche ihnen zur Unterlage dient, und an die sie nur mit einigen Fasern festgeklammert sind, ist keineswegs eine nachhaltige Wasserquelle. Ihr Wasservorrat stammt nicht aus dem Inneren des Baumstammes, eigentlich aus dem Erdreich, in welchem der Baumstamm wurzelt, sondern aus der Atmosphäre, unterliegt daher für die auf der Rinne wachsenden Epiphyten sehr großem Wechsel. Wenn aber bei sehr gleichmäßiger Lufttemperatur längere Zeit hindurch atmosphärische Niederschläge ausbleiben, was in der Heimat dieser hier in Rede stehender Orchideen regelmäßig der Fall ist, so bleibt als einzige Wasserquelle das Wasser übrig, welches die Wurzeln während der feuchten Zeitspanne durch das diese Organe umhüllende poröse Gewebe haben aufspeichern können. Für den Fall, daß auch die Luft, welche die Orchideenblöde umgibt, zeitweilig nur sehr wenig Feuchtigkeit enthält, trodnet allerdings das poröse Gewebe rasch wieder aus; seine Zellen füllen sich mit Luft, ihre Funktion als Wasserfauger ist unterbrochen; dann aber bilden diese luftgefüllten Zellschichten wieder ein Schutzmittel gegen zu weitgehende Verdunstung der tieferen Gewebeschichten der Wurzel, die bei solchen Pflanzen sehr gefährlich werden könnte. Es ist ein weitverbreitetes Vorurteil, daß die tropischen Orchideen in einer stetig feuchten Atmosphäre im schattigen Dunkel des Urwaldes wachsen, und dieses Vorurteil wird besonders genährt durch Abbildungen tropischer Orchideen, welche diese Gewächse als Bewohner der dunkelsten Waldstellen erscheinen lassen. In Wirklichkeit sind die meisten Orchideen der Tropen Kinder des Lichtes. Sie gedeihen am besten an sonnigen Plätzen in offener Landschaft, wie sie die beigeheftete Tafel „Tropische Scheinmarotte“ aus der Nähe des Adamspiss auf Ceylon zeigt. Besonders jene Arten, deren Luftwurzeln mit einer porösen, biden, weißen, papierartigen Hülle umgeben sind, gehören solchen Gegenden an, wo sich alljährlich regelmäßig eine längere Trockenperiode einstellt, und wo infolgedessen, gerade so wie in den kühleren Zonen durch die Kälteperiode des Winters, die Tätigkeit der Vegetation eine zeitweilige Unterbrechung erfährt. Daß die Hülle der Luftwurzeln bei den Orchideen die Vertrocknung hindert, geht aus Versuchen hervor, welche von Goebel mit *Epidendron nocturnum* angestellt wurden. Luftwurzeln, bei denen unter Aufsichtsmasse die Hüllen entfernt wurden, verloren in 24 Stunden etwa 20 Prozent Wasser, während umhüllte Wurzeln nur 7 Prozent einbüßten. Befreit man die Wurzelhüllen durch das Anhängen möglichst vom Wasser, so können sie bei einer Benetzung mit 90 Prozent des Volumens an Wasser aufsaugen, in der That ein Zeugnis für ihre Verlangsamtheit: Wenn man die Wurzelhüllen ganz mit Wasser sättigt, ändern sie ihre weiße Farbe nicht, Luft im Inneren wird Wasser verdrängt und nur das geringe Luftporenvolumen verbleibt. Das einzelne Gewebe bleibt weiß, sie sind für Wasser undurchlässig und lassen sich ab dem Zeitpunkt an den Sauerstoff durchlässig bleiben.

Die Orchideen, welche in Tropenländern mit einer Trockenzeit im Sommer leben, können sich nicht leicht absterben, wenn die Wurzeln der Luftwurzeln in der Trockenperiode verrotten, weil die Hülle den Saft gegen zu weitgehende Verdunstung der lebendigen Zellen in der Wurzel, und in der feuchten Periode wird durch diese Hülle dafür gesorgt, daß die Wurzeln unmittelbar die nötige Wassermenge aufgeföhrt wird. In diesem Sinne ist die poröse Schicht gewissermaßen das feuchte Erdreich, oder mit anderen Worten, der lebendige Teil der Luftwurzel steckt in dieser wasserporösen Hülle wie die Wurzelhaare der Erbpflanzen in der feuchten Erde. Ganz eigentümlich ist auch



Tropische Scheinamaroßer (Ceylon).
Nach Aquarell von H. v. Königsbrunn.

Diese Fähigkeit, atmosphärische Niederschläge unmittelbar aufzunehmen, ist für die Pflanzen von größter Wichtigkeit. Die feuchte Banmborke, welche ihnen zur Unterlage dient, und an die sie nur mit einigen Fasern festgeklammert sind, ist keineswegs eine nachhaltige Wasserquelle. Ihr Wasservorrat stammt nicht aus dem Inneren des Baumstammes, eigentlich aus dem Erdreich, in welchem der Baumstamm wurzelt, sondern aus der Atmosphäre, unterliegt daher für die auf der Borke wachsenden Epiphyten sehr großem Wechsel. Wenn aber bei sehr gleichmäßiger Lufttemperatur längere Zeit hindurch atmosphärische Niederschläge ausbleiben, was in der Heimat vieler hier in Rede stehender Orchideen regelmäßig der Fall ist, so bleibt als einzige Wasserquelle das Wasser übrig, welches die Wurzeln während der feuchten Zeitspanne durch das diese Organe umhüllende poröse Gewebe haben aufspeichern können. Für den Fall, daß auch die Luft, welche die Orchideenstöcke umgibt, zeitweilig nur sehr wenig Feuchtigkeit enthält, trocknet allerdings das poröse Gewebe rasch wieder aus; seine Zellen füllen sich mit Luft, ihre Funktion als Wasserfauger ist unterbrochen; dann aber bilden diese luftgefüllten Zellschichten wieder ein Schutzmittel gegen zu weitgehende Verdunstung der tieferen Gewebeschichten der Wurzel, die bei solchen Pflanzen sehr gefährlich werden könnte. Es ist ein weitverbreitetes Vorurteil, daß die tropischen Orchideen in einer stetig feuchten Atmosphäre im schattigen Dunkel des Urwaldes wachsen, und dieses Vorurteil wird besonders genährt durch Abbildungen tropischer Orchideen, welche diese Gewächse als Bewohner der dunkelsten Waldesstellen erscheinen lassen. In Wirklichkeit sind die meisten Orchideen der Tropen Kinder des Lichtes. Sie gedeihen am besten an sonnigen Plätzen in offener Landschaft, wie sie die beigeheftete Tafel „Tropische Schein-schmarotzer“ aus der Nähe des Adamspicks auf Ceylon zeigt. Besonders jene Arten, deren Luftwurzeln mit einer porösen, biden, weißen, papierartigen Hülle umgeben sind, gehören solchen Gegenden an, wo sich alljährlich regelmäßig eine längere Trockenperiode einstellt, und wo infolgedessen, gerade so wie in den rauheren Zonen durch die Kälteperiode des Winters, die Tätigkeit der Vegetation eine zeitweilige Unterbrechung erfährt. Daß die Hülle der Luftwurzeln bei den Orchideen die Vertrocknung hindert, geht aus Bogenfiguren hervor, welche von Goebel mit *Epidendrum nocturnum* angefertigt wurden. Luftwurzeln, bei denen unter Vorsichtsmaßregeln die Hüllen entfernt wurden, verloren in 24 Stunden etwa 20 Prozent Wasser, während umhüllte Wurzeln nur 7 Prozent einbüßten. Beseitigt man die Wurzelhüllen durch Umschneiden möglichst vom Wasser, so können sie bei einer Benetzung von bis 80 Prozent ihres Gewichtes an Wasser aufsaugen, in der Tat ein Zeugnis für ihre Leistungsfähigkeit. Wenn die Wurzelhüllen ganz mit Wasser sättigen, ändern sie ihre weiße Farbe in eine grüne, Luft im Inneren durch Wasser bedrängt wird und nun das grüne Parenchym durchdringt. Nur einzelne Gewebe bleiben weiß, sie sind für Wasser undurchlässig und sollen sobald dem Durchgang für den Atmungsaerstoff dienbar bleiben.

Bei Orchideen, welche in Tropenländern im Winter ihre Heimat haben, kann man sich nicht leicht einen weihnächtigeren Bau der Wurzeln denken. In der Trockenperiode besteht die Hülle den Schutz gegen zu weitgehende Verdunstung der lebendigen Zellen im Inneren der Wurzel, und in der feuchten Periode wird durch diese Hülle dafür gesorgt, daß die Zellen ununterbrochen die nötige Wassermenge zugeführt wird. In diesem Sinn ist die poröse Schicht gewissermaßen das feuchte Erdreich, oder mit anderen Worten, der lebendige Teil der Luftwurzel steckt in dieser wassergetränkten Hülle wie die Wurzelfaser der Erdpflanze in der feuchten Erde. Ganz eigentümlich ist die

[Zur Tafel: »Tropische Scheinschmarotzer (Ceylon)«.]



Tropische Scheinschmarotzer (Ceylon).

1. *Saccolobium guttatum*. — 2. *Dendrobium nobile*. — 3. *Phajus Wallichii*.

Diese Fähigkeit, atmosphärische Niederschläge unmittelbar aufzunehmen, ist für die Pflanzen von größter Wichtigkeit. Die feuchte Baumborke, welche ihnen zur Unterlage dient, und an die sie nur mit einigen Fasern festgeklammert sind, ist keineswegs eine nachhaltige Wasserquelle. Ihr Wasservorrat stammt nicht aus dem Inneren des Baumstammes, eigentlich aus dem Erdreich, in welchem der Baumstamm wurzelt, sondern aus der Atmosphäre, unterliegt daher für die auf der Borke wachsenden Epiphyten sehr großem Wechsel. Wenn aber bei sehr gleichmäßiger Lufttemperatur längere Zeit hindurch atmosphärische Niederschläge ausbleiben, was in der Heimat vieler hier in Rede stehender Orchideen regelmäßig der Fall ist, so bleibt als einzige Wasserquelle das Wasser übrig, welches die Wurzeln während der feuchten Zeitspanne durch das diese Organe umhüllende poröse Gewebe haben aufspeichern können. Für den Fall, daß auch die Luft, welche die Orchideenstöcke umgibt, zeitweilig nur sehr wenig Feuchtigkeit enthält, trocknet allerdings das poröse Gewebe rasch wieder aus; seine Zellen füllen sich mit Luft, ihre Funktion als Wasserfauger ist unterbrochen; dann aber bilden diese luftgefüllten Zellschichten wieder ein Schutzmittel gegen zu weitgehende Verdunstung der tieferen Gewebeschichten der Wurzel, die bei solchen Pflanzen sehr gefährlich werden könnte. Es ist ein weitverbreitetes Vorurteil, daß die tropischen Orchideen in einer stetig feuchten Atmosphäre im schattigen Dunkel des Urwaldes wachsen, und dieses Vorurteil wird besonders genährt durch Abbildungen tropischer Orchideen, welche diese Gewächse als Bewohner der dunkelsten Waldesstellen erscheinen lassen. In Wirklichkeit sind die meisten Orchideen der Tropen Kinder des Lichtes. Sie gedeihen am besten an sonnigen Plätzen in offener Landschaft, wie sie die beigeheftete Tafel „Tropische Schein-schmaroger“ aus der Nähe des Adamspiks auf Ceylon zeigt. Besonders jene Arten, deren Luftwurzeln mit einer porösen, dicken, weißen, papierartigen Hülle umgeben sind, gehören solchen Gegenden an, wo sich alljährlich regelmäßig eine längere Trockenperiode einstellt, und wo infolgedessen, gerade so wie in den rauheren Zonen durch die Kälteperiode des Winters, die Tätigkeit der Vegetation eine zeitweilige Unterbrechung erfährt. Daß die Hülle der Luftwurzeln bei den Orchideen die Vertrocknung hindert, geht aus Wägungen hervor, welche von Goebel mit *Epidendrum nocturnum* angestellt wurden. Luftwurzeln, bei denen unter Vorsichtsmaßregeln die Hüllen entfernt wurden, verloren in 24 Stunden etwa 20 Prozent Wasser, während umhüllte Wurzeln nur 7 Prozent einbüßten. Befreit man die Wurzelhüllen durch Austrocknenlassen möglichst vom Wasser, so können sie bei einer Benetzung 44 bis 80 Prozent ihres Gewichtes an Wasser auffaugen, in der Tat ein Zeugnis für ihre Leistungsfähigkeit. Wenn sich die Wurzelhüllen ganz mit Wasser sättigen, ändern sie ihre weiße Farbe, da die Luft im Belamen durch Wasser verdrängt wird und nun das grüne Parenchym durchschimmert. Nur einzelne Streifen bleiben weiß, sie sind für Wasser undurchlässig und sollen offenbar dem Durchgang für den Atemungsauerstoff dienstbar bleiben.

Für Epiphyten, welche in Tropengegenden mit einer Trockenzeit ihre Heimat haben, kann man sich nicht leicht einen zweckmäßigeren Bau der Wurzeln denken. In der Trockenperiode verstärkt die papierartige Hülle den Schutz gegen zu weitgehende Verdunstung der lebendigen Zellen im Inneren der Wurzel, und in der feuchten Periode wird durch diese Hülle dafür gesorgt, daß den inneren Zellen ununterbrochen die nötige Wassermenge zugeführt wird. In diesem Sinn ersetzt die poröse Schicht gewissermaßen das feuchte Erdreich, oder mit anderen Worten, der lebendige Teil der Luftwurzel steckt in dieser wassergetränkten Hülle wie die Wurzelfaser der Erdpflanzen in der feuchten Erde. Ganz eigentümlich ist auch

die Art und Weise, wie aus der wassergetränkten Hülle das Wasser in die inneren Zellen der Luftwurzel gelangt. Unter dem porösen Gewebe liegt nämlich eine Schicht aus zweierlei Zellen, größeren, in die Länge gestreckten, deren äußere, an das poröse Gewebe angrenzende Wandungen verdickt und für Wasser schwer durchgängig sind, und dazwischen eingeschaltet kleinere, dünnwandige, saftreiche, durch die das Wasser aus der porösen Hülle eingelassen wird, und welche daher als wahre Saugzellen zu gelten haben.

Die Luftwurzeln der meisten als Epiphyten auf der Borke der Bäume wachsenden Orchideen erreichen niemals die Erde; wenn man sie aber künstlich mit Erde umgibt, so gehen viele zugrunde. Von einigen Arten dagegen, wie z. B. von *Vanda suavis* und *tricolor*, verlängern sich die dicken, gegen den Boden hinabwachsenden Luftwurzeln so lange, bis sie diesen erreichen, und dringen dann auch in das Erdreich ein. Dort, wo sie eingedrungen sind, verlieren sie jedoch ihre weiße, papierartige Hülle und verhalten sich dann mit den eingesenkten Teilen ganz so wie Wurzeln der Erdpflanzen.

Mehrere Farne, Bärlappe, Aroideen, Liliaceen und Kommelinazeen besitzen an ihren Luftwurzeln samtartige Überzüge aus Wurzelhaaren, mit welchen sie sich das nötige Wasser aus der feuchten Luft beschaffen. Als Beispiel für diese Vorrichtung zur Wasseraufnahme möge zunächst der Baumfarn *Todea barbara* dienen. Seine Luftwurzeln entspringen am Umfange des kurzen, sehr dicken Stammes. Sie sind sehr zahlreich, bleiben verhältnismäßig kurz, und die ganze Oberfläche des Stammes erscheint wie mit einer aus jungen und alten Wurzeln geflochtenen Hülle umgeben. Die jüngeren Luftwurzeln sind mit einem samtartigen Überzug aus Wurzelhaaren versehen, die älteren verlieren die Wurzelhaare, bräunen sich, sterben ab, verwesen und bilden dann einen mit schwarzen Strängen durchsetzten, auf dem Stamm zurückbleibenden hygroskopischen Mulm. Sobald aber die einen zugrunde gegangen sind, kommen immer wieder neue wie mit goldbraunem Samt überzogene Luftwurzeln zum Vorschein. Ihr aus Wurzelhaaren gebildeter samtartiger Überzug kondensiert die Feuchtigkeit der umgebenden Luft. Luftwurzeln des genannten Baumfarnes, welche aus trockener Luft in einen mit Wasserdampf gesättigten Raum übertragen worden waren, hatten binnen 24 Stunden 6,4 Prozent ihres Gewichtes an Wasser kondensiert und aufgenommen.

Von den in den Tropen auf der Borke alter Bäume wachsenden Aroideen, Liliaceen und Kommelinazeen entwickeln mehrere, so namentlich *Chlorophytum comosum*, *Campelia Zanonia* und *Philodendron Lindenii* (s. Abbildung, S. 163), in der Luft schwebende Luftwurzeln, die in einer breiten Zone hinter der fortwachsenden Spitze einen dichten Besatz von Wurzelhaaren zeigen. Diese Haare stehen nach allen Seiten von den Wurzeln ab, sind sehr dicht zusammengedrängt und geben, ähnlich wie bei den früher geschilderten Farnen, den betreffenden Teilen ein samtartiges Ansehen. In dem Maß, als diese Luftwurzeln sich verlängern und hinter ihrer fortwachsenden Spitze neue Wurzelhaare entstehen, sterben die älteren, von der Spitze weiter entfernten Wurzelhaare ab, werden braun und verwesen. Da die wie Schnüre von den Stengeln der Aroideen und Kommelinazeen herabhängenden Luftwurzeln weder an die Baumborke noch an irgendeinen anderen festen Körper angewachsen sind, können sie das Wasser auch nicht einer solchen Unterlage entnehmen. Vom Regen werden sie kaum jemals benetzt, da sie von den großen Blättern, welche den in Rede stehenden Pflanzen zukommen, wie mit Schirmen überdacht sind. Überdies wachsen diese Pflanzen auf den Stämmen von Bäumen, deren Kronen sich zu mächtigen Kuppeln wölben

und dadurch verhindern, daß die Luftwurzeln vom Regen benetzt werden. Dagegen ist in den aus solchen Bäumen gebildeten Wäldern die Luft sehr feucht, morgens triefst alles

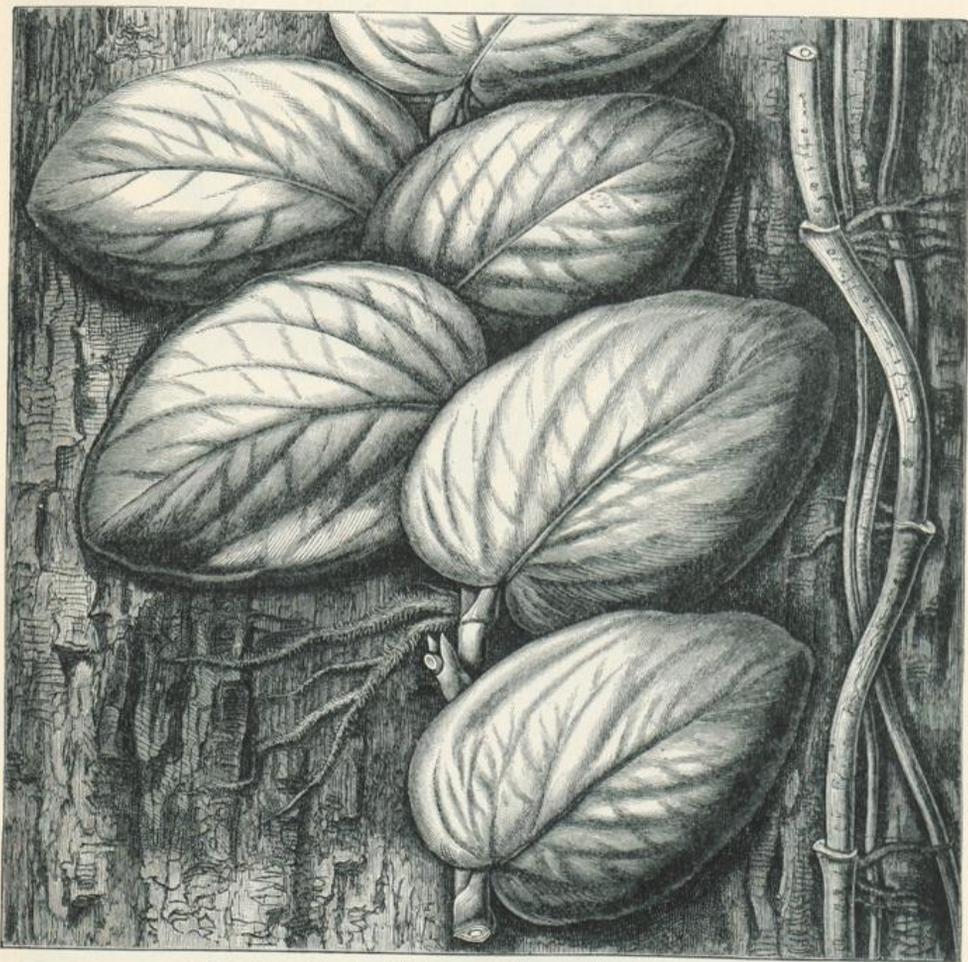


Luftwurzeln mit Wurzelhaaren: links Philodendron Lindenii; rechts Campelia Zanonia. (Zu S. 162.)

vom Tau der Nacht, und es ist gewiß, daß die samtartige Hülle der Luftwurzeln die Fähigkeit hat, dieses Wasser aufzusaugen und den tieferen Zellschichten zuzuführen.

11*

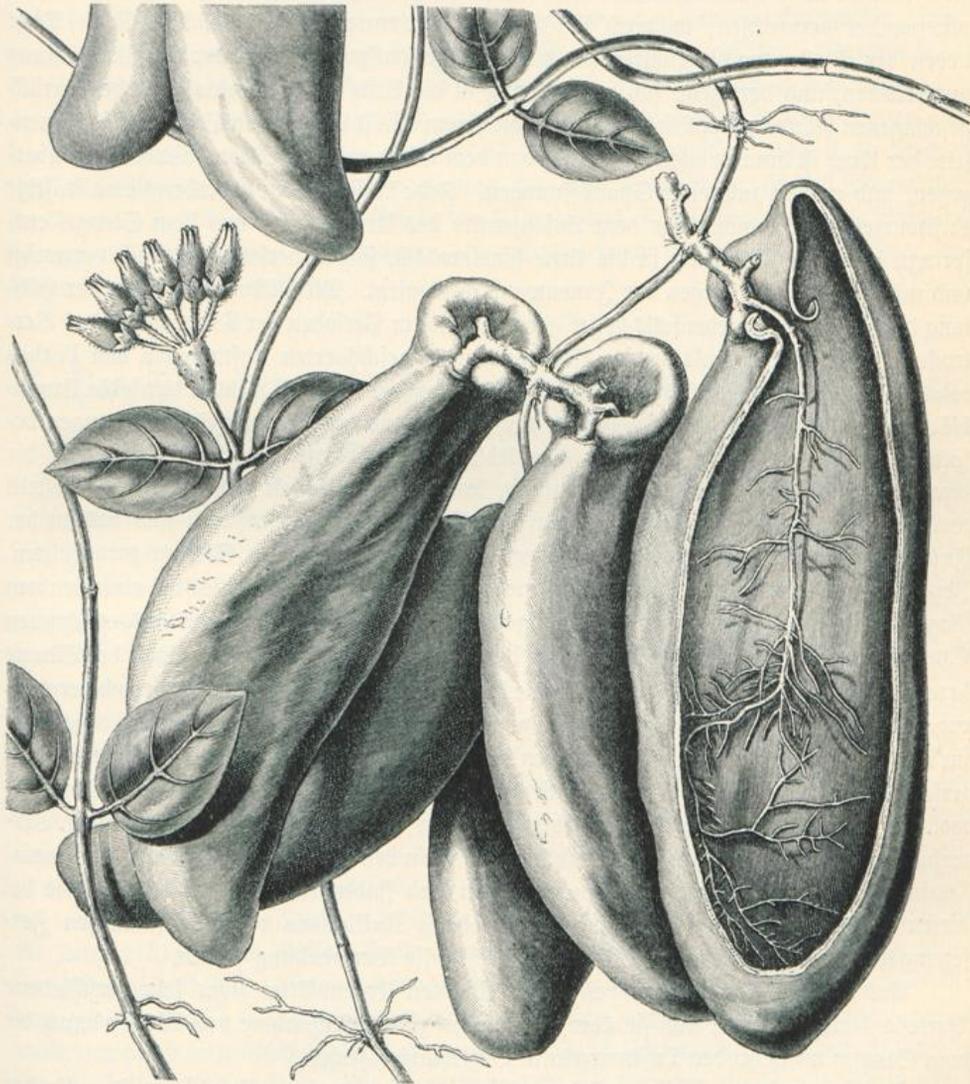
Die Epiphyten, an denen diese Art der Wasseraufnahme beobachtet wird, gedeihen nur an Orten, wo jahraus jahrein die Luft sehr feucht ist. Man darf nun voraussetzen, daß an anderen Orten, wo auf eine die Benetzung der Luftfeuchtigkeit ermöglichende Periode eine trockene Periode folgt, für die Dauer dieser letzteren den Luftwurzeln und ihren Saugzellen irgendein Schutz gegen das Vertrocknen geboten wird. Und das ist auch in der Tat



Pothos celatocaulis; ein Blatt ist weggeschnitten, um die Luftwurzeln zu zeigen.

der Fall. Bei der Aroidee *Pothos celatocaulis* (s. obenstehende Abbildung) sind die samtigen, über die Baumborke hinkriechenden Luftwurzeln, welche die Aufgabe haben, die Stämme an die Unterlage anzuheften, aber zugleich auch die Feuchtigkeit der Luft aufzunehmen, von den Laubblättern überdeckt. Diese Laubblätter sind zweizeilig aneinandergereiht, groß, fleischig und halten selbst in trockener Zeit das Wasser in ihrem Gewebe lange zurück; sie haben eine schalenförmige Gestalt, wenden ihre konkave Seite der Borke zu und liegen dieser mit ihren Rändern so fest und dicht an, daß es einiger Mühe bedarf, sie von derselben zu trennen. Die von diesen Blättern überwölbten Wurzeln erhalten sich in ihrem Versteck

auch in trockenen Perioden lebensfähig und unverändert. So können sie kürzere oder längere Zeit des Wassermangels abwarten und überstehen, aber sobald Regen fällt und sich die Luft mit Wasserdampf sättigt, wird alsbald wieder durch ihre Vermittelung dem Stamm



Dischidia Rafflesiana. Von einem der Urnenblätter ist die vordere Wand weggeschnitten, um die in der Höhlung verzweigte Wurzel zur Ansicht zu bringen.

und den Blättern die nötige Menge von Wasser zugeführt. Ähnliche Anordnung ihrer Blätter zum Schutz der Wurzeln zeigt die Asklepiadee *Conchophyllum imbricatum*.

Viel merkwürdiger gestalten sich die Verhältnisse bei einer anderen tropischen Asklepiadacee, *Dischidia Rafflesiana*, welche oben abgebildet ist. Bei dieser Pflanze beobachtet man zweierlei von den dünnen kletternden Stengeln ausgehende Blätter. Die einen

gleichen gewöhnlichen Laubblättern, sind oval, flach ausgebreitet und fleischig, die anderen haben durch ihr eigentümliches verändertes Wachstum die Gestalt von Taschen oder Urnen angenommen und werden Urnenblätter genannt. Man muß sich vorstellen, daß diese Urnenblätter umgewandelte Laubblätter sind. Die zurückgerollten Ränder des Blattes sind miteinander verwachsen, wodurch sich die sack- oder urnenförmige Gestalt erklärt. Dicht neben der Stelle, wo die Blätter von dem Stengel entspringen, ist aber die Verwachsung unterblieben, und dort zeigt sich ein Eingang in die Urne in Form eines von den zurückgeschlagenen Rändern der Blattbasis wie von einem Wulst umgebenen Loches. Die Innenseite der Urne ist braun-violett, mit einer von dem Blatt ausgeschiedenen Wachsschicht überzogen, und enthält zahlreiche Spaltöffnungen. Jede dieser Urnen beherbergt eine kräftige Luftwurzel, welche dicht über dem Ansatzpunkte des Urnenblattes aus dem Stengel entspringt, durch die Mündung in die Urne hineinwächst, sich in derselben vielfach verzweigt und mit ihren Verästelungen der Innenwand anschmiegt. Diese Wurzeln sind in der Höhlung der Urnenblätter jedenfalls besser geborgen und in Perioden der Dürre gegen das Vertrocknen besser geschützt als die im Vorhergehenden geschilderten Luftwurzeln von *Pothos celatocaulis*. Aber dieser Schutz ist wohl nicht der einzige Vorteil, welcher durch die Urnenblätter erreicht werden soll. Da sich an der Innenwand der Höhlung Spaltöffnungen befinden, welche andeuten, daß hier eine lebhaftere Transpiration stattfindet und daß die Urne ausgeschiedenen Wasserdampf enthält, kann die Möglichkeit nicht in Abrede gestellt werden, daß die Wurzeln in den Urnen auch Wasserdampf kondensieren und das an der Innenseite der Urnenblätter ausgeschiedene Wasser sogleich in den Stamm zurückführen. Jene Urnen, deren Mündung nach aufwärts gerichtet ist, werden überdies bei eintretendem Regen mehr oder weniger mit Wasser gefüllt. Sie bilden dann einen ausgezeichneten Speicher für atmosphärisches Wasser. Mit dem Regenwasser, das über die Borke der Bäume herabfließt und diese abspült, gelangen in die Urnen aber auch häufig erdige Teile und verweste organische Reste. In diesem Falle können von den Wurzeln auch unorganische und organische im Wasser gelöste Nährstoffe aufgenommen werden, und da in solchen Urnen auch die Spuren zerlegter Insekten gefunden werden, so liegt es nahe, anzunehmen, daß dergleichen Tiere bisweilen in den Innenraum schlüpfen, keinen Ausgang finden, im Wasser ertrinken und in Verwesung übergehen, ähnlich wie die Insekten, welche in den Schlauchblättern von *Sarracenia*, *Darlingtonia*, *Cephalotus* und *Nepenthes* ihren Tod finden (vgl. S. 314—319). Wie bei diesen Gewächsen könnten also auch bei *Dischidia Rafflesiana* die stickstoffhaltigen Zerlegungsprodukte der verendeten Tiere als Nährstoffe Verwendung finden.

Aus alledem geht hervor, daß diese seltsamen Urnenblätter zwar sehr verschiedene Vorteile bieten können, daß sie aber vorwiegend zu der Aufnahme von Wasser durch die vom Stamm ausgehenden Luftwurzeln in Beziehungen stehen.

In einer anderen Weise verstehen es sehr viele zu der monokotyliischen Familie der Bromeliaceen gehörige Epiphyten, das atmosphärische Wasser aufzufangen und zu verwenden. Diese oft recht stattlichen und gewichtigen Pflanzen benutzen ihre Wurzeln zum Festklammern an Baumstämmen; als wasserauffangende Organe dienen ihnen dagegen die Basen der grünen Laubblätter. Die Laubblätter bilden bei diesen Bromeliaceen eine schöne regelmäßige Rosette durch festen Zusammenschluß der ungestielten Blätter. Diese haben an der Basis eine lösselförmige Verbreiterung, in der das Regenwasser stehen bleibt. Auf der Innenseite dieser Vertiefungen ist die Epidermis mit flachen, schuppenförmigen Haaren

versehen, welche das Wasser wie kleine Pumpwerke aufsaugen und durch besondere Durchlasszellen dem Blattgewebe zuführen. Die sonderbarste der epiphytischen Bromeliaceen ist die in den südlichen Tälern Nordamerikas und in Südamerika verbreitete *Tillandsia usneoides*, die, wie ihr Name andeutet, an die Bartflechte der Alpen erinnert. Die Bündel ihrer fadendünnen Sprosse hängen wie große Schweife von den Kronen immergrüner Eichen oder anderer Bäume herab, die sie durch ihre Masse oft förmlich ersticken. Wurzeln haben die Tillandsien nicht. Die Epidermis ist mit zahlreichen mikroskopischen Schuppenhaaren bedeckt, die das Regenwasser aufsaugen und allein die Pflanze mit Wasser versorgen. Erscheint das Fehlen aller Wurzeln zunächst als eine grobe Unvollkommenheit, so belehren uns die Tatsachen, daß die Tillandsien dadurch den Vorteil erreichten, überall sich ansiedeln zu können. Der Wind führt oft Stücke der Pflanze fort, sie bleiben an einem Baumaste hängen und können hier weiterwachsen, sie tun das sogar auf Telegraphendrähten, von denen sie abgefangen wurden.

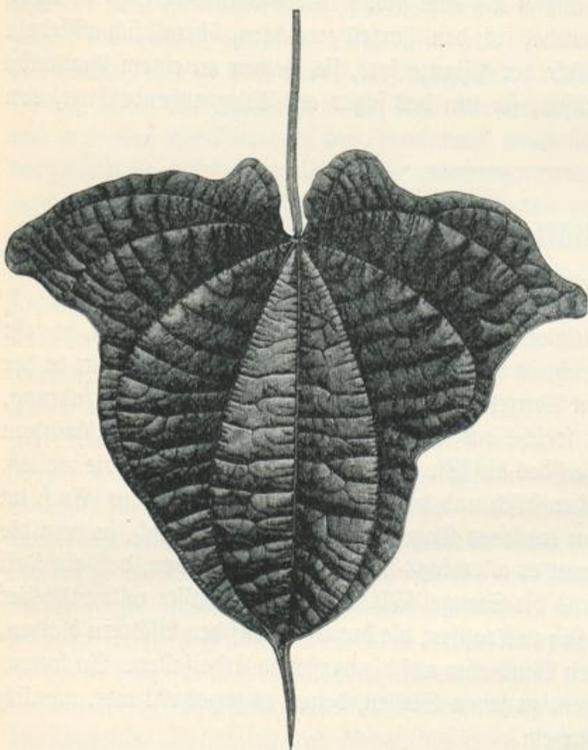
3. Das Verhalten der Blätter gegen Regen und Tau und die Ausscheidung von Wasser durch Laubblätter.

Wer eine Pflanze im Topfe kultiviert und sieht, daß ihre Blätter schlaff werden, begießt nicht die Blätter, sondern das Erdreich, in das die Pflanze gesetzt wurde, und zwar in der Absicht, den im Erdreiche verzweigten Wurzeln Wasser zuzuführen. Er weiß aus Erfahrung, daß die Wurzeln jene Organe sind, welche das Wasser aufnehmen und den Laubblättern zuführen, und daß durch das Begießen des die Wurzeln umgebenden Erdreiches die welken, schlaffen Blätter in kurzer Zeit wieder frisch und prall gemacht werden können. Auch im freien Lande begießt der Gärtner an trockenen Tagen vorzüglich das Erdreich, in dem die Wurzeln eingebettet sind. Dabei kann er allerdings nicht immer vermeiden, daß ein Teil des Wassers zunächst auf das Laub und die Stengel fällt. Aber dieses Wasser rollt entweder sofort zur Erde hinab, oder es formt sich zu Tropfen, die kurze Zeit auf den Blättern bleiben, bei der ersten Erschütterung durch den Wind aber auf die durstende Erde fallen. So kommt das Wasser, wenn auch auf Umwegen, zu jenen Stellen, denen es zugehört war, nämlich zu den in der Erde verborgenen Wurzeln.

Diese Erfahrungen sprechen dafür, daß sich die oberirdischen Pflanzenteile, namentlich die Laubblätter, zur Wasseraufnahme nicht eignen, da ihnen ja auch wesentlich andere Aufgaben gestellt sind. Sie sollen umgekehrt das von den Wurzeln heraufgeleitete Wasser wenigstens teilweise in Dunstform an die Luft abgeben, weil, wie später erläutert werden wird, nur durch diese Verdunstung das ganze Getriebe im Inneren der belaubten Pflanze im Gang erhalten werden kann. Die Vorstellung läßt sich hiernach in folgende Worte fassen: das Wasser wird von den Wurzeln aus der feuchten Erde aufgenommen, in den Stengeln wird es zu den Laubblättern geleitet, und aus den Blättern verdunstet es in die Atmosphäre.

Daß die Laubblätter, sogar solche vieler nicht untergetauchter Wasserpflanzen, im allgemeinen nicht der Aufnahme des Wassers dienen, zeigt die Tatsache, daß die meisten Laubblätter gar nicht vom Wasser benetzt werden. Das liegt schon in dem Überzug der Oberhaut mit der Kutikula (S. 54), aber vielfach finden sich noch andere Einrichtungen, welche die Benetzung der Blattflächen verhindern. Dahin gehört einmal die Ausscheidung von feinen

Wachsüberzügen, welche die betreffenden Blätter bläulich bereift erscheinen lassen. Dieser zarte Wachschauch genügt, um jede Benetzung zu verhindern. Wenn man auf die Oberfläche der Blätter von *Colocasia* oder *Nelumbium* Wasser träufelt, so rollen die größten Wassertropfen wie Quecksilbertropfen ab oder in dem vertieften Blatt von *Nelumbium* hin und her, ohne die Blattfläche zu benetzen. Auch die Behaarung vieler Blätter bildet einen wirksamen Schutz gegen Benetzung, da die zwischen einem dichten Haarleide festgehaltene Luft das Eindringen des Wassers zur Blattfläche hindert und Regentropfen von dem Haarfilz abrollen. Recht deutlich zeigt sich die Wirkung solcher Behaarung bei einer schwimmenden



Blatt von *Dioscorea macroura* mit Träufelspitze.

Wasserpflanze, *Salvinia natans*. Die Blätter dieses zierlichen Pflänzchens tragen auf der ganzen Oberfläche büschelförmig verzweigte Haare, welche die Luft so festhalten, daß man getrost die Pflanze unter Wasser tauchen kann. Beim Auftauchen sind die Blätter vollkommen unbeneht. Schon die ganze Form der Laubblätter ist mehr einer Ableitung des Regens angepaßt als einer Aufnahme des Wassers. Zunächst kommt diese Form durch die für alle Blätter übereinstimmende Art ihres Wachstums zustande. Das Wachstum erlischt zuerst an der Spitze, und die Verbreiterung der Blattfläche geht von der Basis aus. Daher kommt es denn, daß in der Regel die Blätter oder ihre Teile in eine Spitze auslaufen. Man kann nun sehr leicht bei Regenwetter beobachten, daß diese allgemein verbreitete Blattform dahin führt, daß das Regenwasser von der Blattfläche den Spitzen zuläuft, hier abfließt und durch Nachfließen der Feuchtigkeit sich zu abfallenden Tropfen sammelt. So werden die Blätter schnell wieder trocken. Diese Tatsache ist durch Beobachtungen in den regnerischen Tropengegenden noch bestätigt worden. Wenn es auch in der Tropenvegetation eine große Menge Pflanzen gibt, die die starke Benetzung durch häufige Regengüsse gut vertragen, so scheint doch bei ebensoviele durch besonders auffallende Gestalt ihrer Blätter eine möglichst rasche Ableitung des Regenwassers geradezu befördert zu werden. Die Botaniker *Jungner* und *Stahl* machten darauf aufmerksam, daß gerade in den regenreichsten Gebieten von Kamerun und Java die Spitzen der Blätter auffallend häufig besonders stark verlängert sind, wodurch das Abtropfen so sichtlich gefördert wird, daß man diese Spitze treffend als „Träufelspitze“ bezeichnet hat. Das abgebildete Blatt der tropischen

Wasserpflanze, *Salvinia natans*. Die Blätter dieses zierlichen Pflänzchens tragen auf der ganzen Oberfläche büschelförmig verzweigte Haare, welche die Luft so festhalten, daß man getrost die Pflanze unter Wasser tauchen kann. Beim Auftauchen sind die Blätter vollkommen unbeneht.

Schon die ganze Form der Laubblätter ist mehr einer Ableitung des Regens angepaßt als einer Aufnahme des Wassers. Zunächst kommt diese Form durch die für alle Blätter übereinstimmende Art ihres Wachstums zustande. Das Wachstum erlischt zuerst an der Spitze, und die Verbreiterung der Blattfläche geht von der Basis aus. Daher kommt es denn, daß in der Regel die Blätter oder ihre Teile in eine Spitze auslaufen. Man kann nun sehr leicht bei Regenwetter beobachten, daß diese allgemein

Dioscorea macroura besitzt eine rinnenförmig gefaltete Spitze, auf die alle Hauptnerven des Blattes als bogenförmige Rinnen zulaufen. Von dem grünen Blattgewebe läuft das Wasser in diesen Rinnen der Tropfspitze zu und tropft hier ab. Die Blattfläche ist dann nur noch mit einer dünnen Wasserhaut überzogen, die schnell verdunstet, und das Blatt wird trocken.

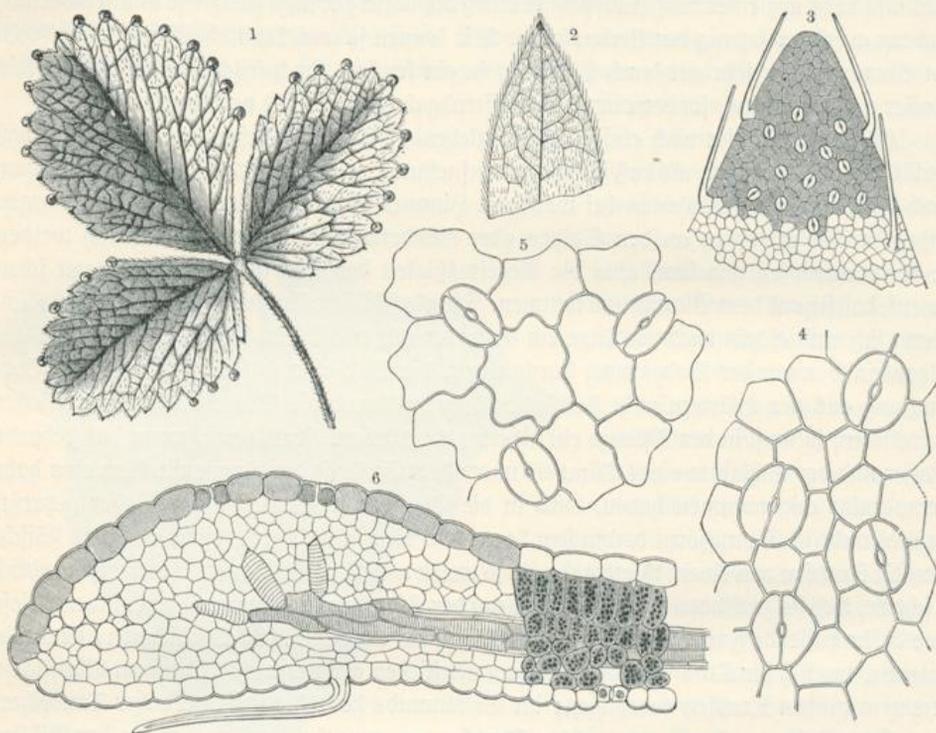
Die Erfrischung, die das Laub der Pflanzen unmittelbar nach Regenfällen zeigt, beruht also nicht auf einer Wasseraufnahme durch die dafür gar nicht geeignete Blattepidermis, sondern auf Herabsetzung der Verdunstung. Wir können ja auch künstlich Pflanzenteile, z. B. ein Blumenbukett, sehr gut durch Einhüllen in ein feuchtes Tuch frisch erhalten, wobei kein Wasser aufgenommen, sondern nur die Wasserabgabe an die Luft verhindert wird.

Es lassen sich hier noch einige recht anziehende Fälle anschließen, welche dartun, daß die Blätter viel häufiger, als daß sie Wasser aufnehmen, solches in Tropfenform ausscheiden. Nach warmen Sommernächten bei wolkeigem Himmel beobachtet man am frühen Morgen glitzernde Wassertropfen an den Spitzen oder Rändern der Blätter. Gewöhnlich werden sie für Tautropfen gehalten, aber die Regelmäßigkeit der Tropfenverteilung deutet schon darauf, daß sie aus dem Blattinnern kommen. Die physikalische Entstehung ist leicht begreiflich. Wenn sich nach einem warmen Tage ein Gewitter mit reichlichem Regen entladet, und am folgenden Morgen der Boden noch durchwärmt, die Luft aber so feucht ist, daß eine Verdunstung aus den Blättern nicht stattfinden kann, während die Wurzeln immerfort Wasser aufnehmen, so muß in der Pflanze ein Überdruck entstehen. Auch dann, wenn das stehende Wasser und der Schlamm eines Tümpels unter dem Einflusse der Sonnenstrahlen eine hohe Temperatur angenommen haben, wird in die Blätter ein Übermaß von Wasser gepreßt, welches nicht in Dampfform verdunsten kann, und nun in flüssiger Gestalt austritt. Wischt man die Tropfen von einem Blattrande ab, so treten alsbald neue hervor. Sie werden endlich so schwer, daß sie zu Boden fallen oder auch auf der Blattspreite zusammenfließen, wenn diese eine dafür passende Form besitzt. Das ist der Fall bei der auf S. 182 abgebildeten *Alchimilla vulgaris*, wo sich die Tröpfchen durch Zusammenfließen auf der trichterförmigen Blattfläche zu einem großen Tropfen vereinigen; im Volksmunde heißt die Pflanze daher Taubecher.

Das Auftreten der ausgepreßten Tropfen an ganz bestimmten Stellen der Blätter deutet auf besondere Mittel der Ausscheidung hin. Die Tropfenausscheidung erfolgt in der Tat durch besondere, nur an gewissen Stellen sitzende Organe. Entweder tritt das Wasser aus Rissen, die im Gewebe entstehen, aus, oder es sind haarartige Wasserdrüsen (in der Botanik *Hydathoden* genannt), die zwischen den Epidermiszellen liegen und Wasser ausscheiden. Wo größere Tropfen ausgeschieden werden, besorgen dies meistens unter der Epidermis liegende Zellgruppen, die das Wasser durch offene, am Blattrande oder häufig an den Blattspitzen liegende Spalten auspressen. Diese Spalten heißen Wasserspalten. Sie sehen ähnlich aus wie die Spaltöffnungen, schließen sich jedoch nicht wie diese.

Die Größe der Wasserspalten ist demselben Wechsel unterworfen wie die der Spaltöffnungen. Auffallend groß sind die Wasserspalten bei *Ranunculus Flammula*, *Lythrum Salicaria* und *Tropaeolum majus*. Bei der zuletzt genannten Pflanze ist die Öffnung der Wasserspalten 28 Mikromillimeter lang und 45 Mikromillimeter breit. Auffallend klein sind sie bei den Arten der Gattungen *Asperula*, *Urtica* und *Fragaria*. Bei der Erdbeerpflanze (*Fragaria vesca*) mißt die Öffnung 6 Mikromillimeter in der Länge und 4 Mikromillimeter in der Breite. Auf denselben Flächenraum, auf den bei *Tropaeolum majus* eine einzige große Wasserspalte fällt, treffen bei *Fragaria vesca* 84 kleine Wasserspalten. Dieser Gegensatz läßt sich auch

verallgemeinern und in folgender Weise ausdrücken: Wenn sich auf einer Fläche von bestimmtem Umfange zahlreiche Wasserspalten finden, sind diese stets kleiner als dann, wenn auf einer gleichgroßen Fläche nur eine einzige Wasserspalte zur Entwicklung gekommen ist. In manchen Fällen, beispielsweise bei *Aconitum*, *Begonia*, *Tropaeolum* und der untenstehend abgebildeten *Potentilla Carniolica* sind die Wasserspalten größer als die Spaltöffnungen der-



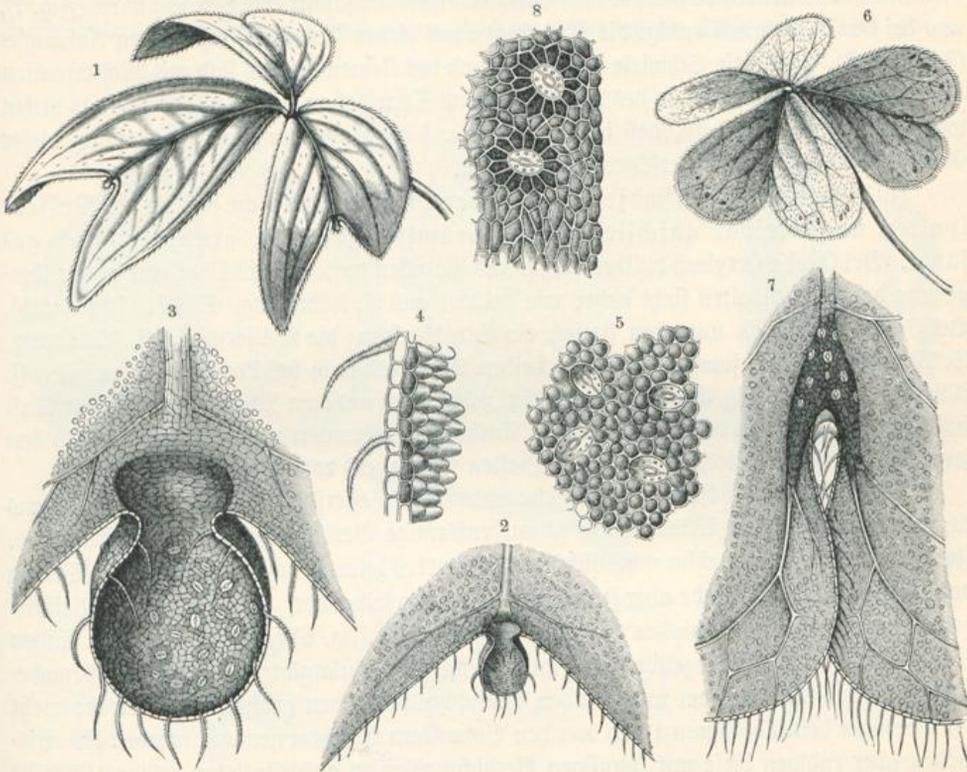
Wasserspalt und Wasserausscheidung an den Blättern der *Potentilla Carniolica*: 1 ein dreizähliges Blatt, an dessen Sägezähnen die aus den Wasserspalten ausgeschiedenen Wassertropfen haften; von einigen Blattzähnen sind die Wassertropfen bereits abgerollt, natürliche Größe; 2 ein einzelner Blattzahn, 4fach vergrößert; 3 die rot gefärbte Spitze eines Blattzahnes, welche 13 Wasserspalten trägt, 50fach vergrößert; 4 ein Stück der Oberhaut mit Wasserspalten, 280fach vergrößert; 5 ein Stück der Oberhaut mit Spaltöffnungen, 280fach vergrößert; 6 Durchschnitt durch einen Blattzahn senkrecht auf die Blattfläche; zwischen den rot gefärbten Zellen der Oberhaut sieht man zwei Wasserspalten eingeschaltet, darunter das chlorophyllose Gewebe (das Epithem); unter den farblosen Zellen der Oberhaut (rechts) das chlorophyllführende Gewebe des Blattes und darunter eine Spaltöffnung; durch dieses Gewebe zieht ein Gefäßbündelstrang, welcher unterhalb der Wasserspalten im Epithem mit Spiralfaserzellen endigt. 280fach vergrößert. (Zu S. 171 u. 172.)

selben Pflanze, aber die Dolbenpflanzen und zahlreiche Rosazeen haben Wasserspalten, welche die Größe der auf denselben Blättern ausgebildeten Spaltöffnungen nicht erreichen.

Die Wasserspalten werden gewöhnlich früher als die Luftspalten in der Epidermis ausgebildet. Die jugendlichen, noch zusammengecollten Blätter des bei S. 199 abgebildeten *Philodendron pertusum* und die fächerförmig zusammengefalteten Blätter der *Alchimilla vulgaris* trüben an den Stellen, wo sich Wasserspalten finden, von dem dort ausgeschiedenen Wasser, während an denselben Blattflächen die Spaltöffnungen über die ersten vorbereitenden Entwicklungsvorgänge noch nicht hinausgekommen sind.

Die Wasserspalten bilden sich in der Regel über den Enden der wasserleitenden Gefäßbündel aus. Da diese an der Spitze und am Rande der grünen Blätter zu liegen pflegen,

sind dort auch die Wasserspalten am häufigsten anzutreffen. Ist der Blattrand gekerbt oder gezähnt, so befinden sich die Wasserspalten regelmäßig auf den Kerb- oder Sägezähnen. Als Beispiel für diese Anordnung kann *Potentilla Carniolica* dienen, von der in der Abbildung, S. 170, Fig. 1, ein Blatt dargestellt ist, dessen drei Teile am Rande deutlich gezähnt sind. Das Blatt wurde an einem Tag abgebildet, an dem die Luft mit Wasserdampf gesättigt war.



Wasserspalt an *Oxalis ortgiesii* (1—5) und *Oxalis floribunda* (6—8): 1 ein dreilobiges Blatt von *Oxalis ortgiesii*, natürl. Größe; 2 löffelförmiges Anhängsel vor dem Ende des Gefäßbündels in dem herzförmigen Ausschnitt eines Teilblättchens, 10fach vergrößert; 3 dasselbe, 40fach vergrößert, im Grunde des Löffels die Wasserspalten sichtbar; 4 ein Stück des Löffels im Längsschnitt, 120fach vergrößert; an der oberen Seite sind die Oberhautzellen papillenartig vorgewölbt, an der unteren Seite sind zwei Haare in die Oberhautzellen eingeschaltet; 5 dasselbe unter Flächenansicht; 6 ein dreilobiges Blatt von *Oxalis floribunda*, natürl. Größe; 7 die Schwiele hinter dem herzförmigen Blattausschnitt, welche die Wasserspalten trägt, 20fach vergrößert; 8 ein Stück der Oberhaut dieser Schwiele mit zwei von strahlenförmig gruppierten Oberhautzellen umgebenen Wasserspalten. (Zu S. 172.)

Auf jedem Blatzzahn glänzte ein aus den dort befindlichen Wasserspalten ausgeschiedener Wassertropfen. Infolge der Erschütterung beim Abpflücken hatte sich ein Teil der Wasserperlen abgelöst. Um das Bild möglichst getreu und instruktiv zu gestalten, wurden mehrere Blatzzähne so gezeichnet, wie sie nach dem Abrollen der Wassertropfen erschienen waren.

Jeder Blatzzahn weist bei *Potentilla Carniolica* 10—15 Wasserspalten auf. Bei der schwarzen Riefwurze (*Helleborus niger*) finden sich an den Blattabschnitten über jedem endständigen Blatzzahn 10, über den kleineren seitenständigen Blatzzähnen 3—5 Wasserspalten. Bei Pflanzen mit ganzrandigen, weder gekerbten noch gezähnten Blättern, wie z. B. bei *Callitriche verna* und *Hippuris vulgaris*, findet man dagegen über der Blattspitze nur eine einzige Wasserspalte, und bei den meisten Aroideen sind die Wasserspalten paarweise gruppiert,

d. h. auf der oberen Seite der Blattspitze stehen zwei verhältnismäßig große Wasserspalten nebeneinander. Eine eigentümliche Gruppierung zeigen die Wasserspalten bei mehreren mit dreizähligen Blättern ausgestatteten Arten der Gattung Sauerklee (*Oxalis*), namentlich *Oxalis floribunda* und *Ortgiesii*. Jedes der drei Teilblättchen ist bei ihnen verkehrt-herzförmig (s. Abbildung, S. 171, Fig. 1 und 6); bei *Oxalis floribunda* befindet sich über dem Ende der Mittelrippe dicht vor dem herzförmigen Ausschnitt eine rote Schwiele (Fig. 7), und bei *Oxalis Ortgiesii* endigt die Mittelrippe mit einem kleinen löffelförmigen Anhängsel (Fig. 2 u. 3). Nur diese Schwiele und der Grund des kleinen Löffels sind mit Wasserspalten besetzt; an den übrigen Teilen des Blattes ist keine Spur davon zu finden. Schon aus diesen wenigen Beispielen erhellt, daß in Beziehung auf die Anordnung und Verteilung dieser Gebilde eine sehr große Verschiedenheit besteht.

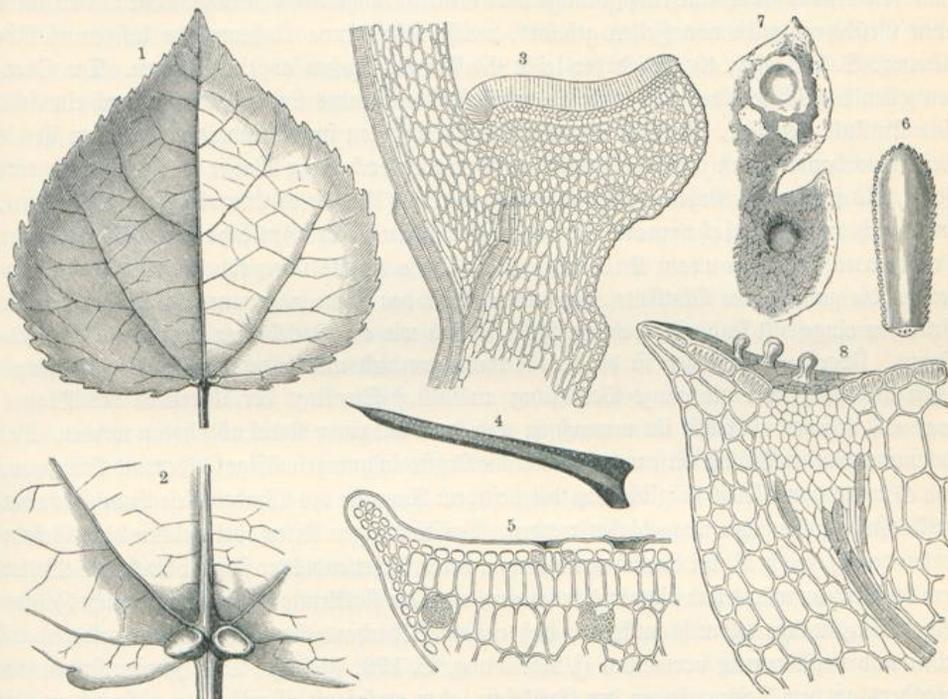
In den meisten Fällen sind jene Zellen der Oberhaut, welche sich an die Wasserspalten unmittelbar anschließen, eigentümlich geformt, gruppiert und gefärbt. Bei *Oxalis Ortgiesii* wölben sie sich als Papillen vor, und die Oberhaut in der Umgebung der Wasserspalten sieht daher wie geförnt aus (s. Abbildung, S. 171, Fig. 4 u. 5). Bei *Oxalis floribunda* umgeben sie wie ein Strahlenkranz die Wasserspalte (s. Abbildung, S. 171, Fig. 8), und sowohl bei diesen beiden Arten als auch bei *Potentilla Carniolica* (s. Abbildung, S. 170, Fig. 3 u. 6) und noch bei zahlreichen anderen Pflanzen enthält der Saft in diesen Zellen einen unter dem Namen Anthoxyan bekannten roten Farbstoff, durch den jene Stellen des Blattes, welche Wasserspalten tragen, als rote Flecke erscheinen.

Die Enden der Gefäßbündel, welche unter den Wasserspalten münden, bestehen aus kurzen Gefäßen, deren Wände durch schraubenförmige Verdickungsleisten ausgesteift sind. Im Bereiche des grünen chlorophyllführenden Gewebes bilden sie einen geschlossenen Strang von gleicher Dicke, am Ende aber spreizen sie häufig auseinander. Bei der hier als Beispiel gewählten *Potentilla Carniolica* (s. Abbildung, S. 170, Fig. 6) schließen sich diese Enden einem chlorophyllosen kleinzelligen und mit engen Interzellulargängen durchsetzten Gewebekörper an, der sich von dem umgebenden chlorophyllführenden großzelligen Gewebe mehr oder weniger deutlich abgrenzt und von den Botanikern Epithem genannt worden ist. Bisweilen aber endigen diese mit spiraligen Verdickungsleisten ausgestatteten zelligen Gebilde in den unter der Oberhaut ausgebildeten luftgefüllten Hohlräumen in unmittelbarer Nähe der Wasserspalten.

Das von dem Gefäßbündel zugeführte Wasser tritt erst in die Epithemzellen, in denen der Druck allmählich so steigt, daß sich das Wasser in die Interzellularräume ergießt und von hier aus durch die Wasserspalten austritt. Daß dies Auspressen von Wasser für die Pflanzen einen Nutzen haben muß, ist wohl zweifellos, denn sonst würden nicht die verwickeltesten Bildungen der Hydathoden zu diesem Zweck entstanden sein. Es handelt sich, so weit wir sehen können, um eine Herabsetzung übermäßigen Wasserdruckes (Turgors) in der Pflanze. Daß ein solcher schädlich wirken könnte, ergibt die Überlegung, daß der normale Druck in einer Zelle schon eine oder mehrere Atmosphären beträgt. Durch verstärkten Druck könnte das Interzellularsystem eines Blattes leicht mit Wasser erfüllt und damit die Durchlüftung unmöglich gemacht werden. Die Menge des aus den Spalten ausgepressten Wassers ist zuweilen nicht unbedeutend. Bei *Colocasia antiquorum* hat man während einer Nacht die Ausscheidung von $\frac{1}{10}$ Liter Wasser beobachtet.

4. Einrichtungen zur Wasseraufnahme durch besondere Gruben und Rinnen oder Haare der Blätter.

Eine sehr eigentümliche Erscheinung ist es, daß bei ganzen Gruppen von Pflanzen mit den Wassertropfen feste in diesen gelöste Stoffe ausgeschieden werden, welche später auf den Wasserspalten vertrocknen und sie für eine Zeitlang verschließen. Diese merkwürdigen Tat-



Sauggrübchen und Saugnäpfe an Laubblättern: 1 Blatt eines Schöfplings der Espe, 2 die Basis dieses Blattes, 3fach vergrößert; 3 Durchschnitt durch ein Saugnapf, 25fach vergrößert; 4 Blatt des Acantholimon Songanense, 5 Durchschnitt durch einen Teil dieses Blattes, 110fach vergrößert; 6 Blatt des immergrünen Steinbrechs (Saxifraga aizoon), 7 zwei Zähne des Blattrandes, das Sauggrübchen des oberen Zahnes mit Kalkkrusten bedeckt, von dem unteren Blattzahn die Kalkkruste entfernt, 8 Durchschnitt durch einen Blattzahn und dessen Sauggrübchen, 110fach vergrößert. (Zu S. 173—175, 178.)

sachen sind nicht ganz leicht zu deuten, doch da sie sich bei Pflanzen besonders trockener Standorte finden, die wenigstens zeitweise unter Wassermangel zu leiden haben, so stehen diese Einrichtungen, die wir jetzt schildern wollen, auch wohl in naher Beziehung zur Wasserversorgung der Pflanzen. Es ergibt sich daraus, daß unter ungünstigen Bedingungen auch die Organe, welche sonst gerade gegen das Eindringen von Wasser mit Schutzeinrichtungen versehen sind, nämlich die Blätter der höheren Pflanzen, zur Aufnahme kleiner atmosphärischer Wassermengen dienen können.

Auf den Blättern gewisser Steinbrecharten erkennt man bei mäßiger Vergrößerung kleine Grübchen hinter der Spitze und längs der Seitenränder auf der oberen Seite der Blätter. Ist der Blattrand gezähnt oder geferkelt, wie z. B. an Saxifraga aizoon (s. obenstehende Abbildung, Fig. 6 u. 7), so trägt jeder Zahn in der Mitte je ein solches Grübchen. Die Zellen,

welche den äußersten Rand der Zähne oder Kerben bilden, sind immer sehr verdickt, starr und fest, das Mittelfeld des ganzen Blattes aber ist fleischig und wird aus einem sehr umfangreichen, großzelligen Parenchym gebildet. Das Gefäßbündel, welches an der Basis des Blattes eintritt, verteilt sich in zahlreiche Seitenbündel, welche entweder ohne weitere Verzweigung gegen den Blattrand verlaufen, wie z. B. bei *Saxifraga caesia*, oder aber in ihrem Verlaufe sich netzförmig miteinander verbinden, wie bei *Saxifraga aizoon*. Diese Seitenbündel endigen in den Blattrand verlaufend unmittelbar unterhalb der dort befindlichen Grübchen, und zwar bildet jedes Ende eine knopfförmige oder birnenförmige Anschwellung. Der Boden eines jeden Grübchens wird von Zellen gebildet, welche sehr dünne Außenwände besitzen (s. Abbildung, S. 173, Fig. 8) und daher leicht Wasser nach außen abgeben können. Die Oberhautzellen des Mittelfeldes und auch die des äußersten Randes sind allerdings durch eine sehr dicke Kutikula geschützt, aber für die dünnwandigen Zellen im Grunde der Grübchen ist die Gefahr vorhanden, daß durch sie ebensoviel oder auch noch mehr Wasser in Dampfform entweicht, als früher bei Regenwetter ausgepreßt wurde. Um dieses Entweichen zu verhindern, findet sich nun ein sehr merkwürdiger Verschluss der Grübchen in Form einer Kruste aus kohlensaurem Kalk hergestellt. Diese Kruste überzieht bei manchen Steinbrechen die ganze obere Blattseite, bei anderen nur den Rand oder nur die Stelle, wo die Grübchen eingesenkt sind, in welchem Falle sie sich wie ein Deckel über dem Grübchen anheftet. Über dem Grübchen ist die Kruste immer verdickt und bildet manchmal einen förmlichen Pfropfen, der die ganze Vertiefung ausfüllt. Sie liegt der Oberhaut des Blattes zwar an, ist aber nicht mit ihr verwachsen und kann mit einer Nadel abgehoben werden. Bei Krümmungen der Blätter birst und zerbricht die Kruste in unregelmäßige Felder und Schuppen, und es wäre dann leicht möglich, daß bei heftigem Anpralle des Windes diese Bruchstücke der Kalkkruste abfallen und weggeblasen werden. Bei denjenigen Arten, bei welchen diese Gefahr vorhanden ist, wie z. B. bei *Saxifraga aizoon*, deren Rosettenblätter sich bei trockenem Wetter ziemlich stark aufwärts und einwärts krümmen, wird die Kalkkruste durch eigentümliche Zapfen festgehalten, welche dadurch entstehen, daß einzelne Oberhautzellen sich über die anderen erheben und papillenartig vorwölben (s. Abbildung, S. 173, Fig. 8). Diese Zapfen finden sich besonders an den Seitenwänden der Grübchen, aber auch sonst allenthalben zerstreut an der Oberhaut des Blattrandes. Sie sind mit der Kalkkruste so verschränkt, daß ein Abfallen der letzteren nicht leicht erfolgen kann, und daß ein verhältnismäßig ziemlich starker Druck der Nadel nötig ist, um die Kruste von diesen Zapfen zu trennen. Der kohlensaure Kalk, aus dem diese Krusten bestehen, wird von der Pflanze in Lösung ausgeschieden, und zwar aus Poren, die sich in der Tiefe der Grube finden. Die Poren haben die Gestalt gewöhnlicher Spaltöffnungen, sind in der Regel nur etwas größer, und es ist nicht unwahrscheinlich, daß sie, nachdem einmal die Kalkkruste aus der ausgeschiedenen Lösung sich gebildet hat, auch als Spaltöffnungen bei der Transpiration beteiligt sind.

Wie die hier geschilderte Vorrichtung wirkt, bedarf noch einer Erläuterung. Fällt Tau oder Regen auf das Steinbrechblatt, so wird sofort die ganze obere Fläche benetzt, das Wasser zieht sich unter die Kalkkruste, breitet sich dort aus und kommt im Nu auch in die Grübchen, wo es von den in der Tiefe befindlichen Saugzellen nun ebenso gut aufgenommen werden kann, wie sie anfangs Wasser ausgepreßt haben. Der Pfropfen aus Kalk, welcher in jedem Grübchen eingelagert ist, wird dabei nur unbedeutend gehoben. Bei trockenem Wetter liegt die Kalkkruste wieder dicht den Oberhautzellen auf, der Pfropfen senkt sich wieder und ver-

hindert die Verdunstung des Wassers aus den dünnwandigen Zellen der Grübchen. Da diese Steinbrecharten an sonnigen Bergabhängen in den Ritzen von Felsen wachsen, so wären sie ohne Schutzmittel sehr leicht dem Vertrocknen preisgegeben.

Diesen Saugvorrichtungen an den Steinbrechblättern außerordentlich ähnlich sind jene an den Blättern von *Acantholimon*, *Goniolimon* und einigen anderen *Plumbaginazeen*. Man findet hier die Grübchen gleichmäßig über die ganze Blattfläche verteilt, und wenn sie durch eine Kruste oder Schuppe aus kohlensaurem Kalk zugedeckt sind, erscheinen dadurch die Blätter weiß punktiert, wie das z. B. an dem auf S. 173, Fig. 4, abgebildeten Blatte des *Acantholimon Senganense* zu sehen ist. Hebt man eine der Kalkschuppen ab, so zeigt sich unter ihr ein kleines Grübchen, und man bemerkt, daß der Boden dieses Grübchens aus vier bis acht durch strahlenförmig verlaufende Scheidewände getrennten Zellen gebildet wird, deren Außenwand ungemein zart und dünn ist. Die an dieses Grübchen anschließenden anderen Zellen der Oberhaut sind dagegen immer mit einer dicken Kutikula versehen (s. Abbildung, S. 173, Fig. 5). Die Zellen, welche den Boden des Grübchens bilden, scheiden zu der Zeit, wenn ihren Wurzeln reichlich Wasser zugeführt wird und der Turgor in den Zellen der Blätter ein großer ist, gelösten doppeltkohlen-sauren Kalk aus. In der Luft entweicht ein Teil der Kohlen-säure, und der im Wasser unlösliche einfachkohlen-saure Kalk bildet dann eine Kruste, welche das Grübchen erfüllt und überdeckt und sich manchmal sogar über das ganze Blatt als ein zusammenhängender Kalkpanzer ausbreitet.

Alle *Plumbaginazeen*, namentlich alle *Acantholimon*-, *Goniolimon*- und *Statice*-Arten, welche diese Einrichtung zeigen, bewohnen Steppen und Wüsten, wo im Sommer monatelang kein Regen fällt, das Erdreich bis zu bedeutender Tiefe austrocknet und den Pflanzenwurzeln daher nur äußerst wenig Wasser geboten wird. Obschon die starren Blätter durch die dicke Kutikula und durch die Kalkkrusten und Kalkschuppen gegen übermäßige Verdunstung ihres Wassergehaltes geschützt sind, so ist, zumal dann, wenn die Mittagssonne über der Steppe brüht, ein geringer Wasserverlust doch schwer zu vermeiden, und bei der großen Trockenheit im Boden ist es kaum möglich, diesen wenn auch noch so geringen Wasserverlust mittels der an den Wurzelspitzen befindlichen Saugzellen aus der Erde zu ersetzen. Um so willkommener ist für solche Pflanzen der in manchen trockenen Gebieten im Verlaufe der Nacht mitunter reichlich fallende Tau, der die starren Blätter nekt, sich sofort auch unter die Kalkkrusten und Kalkschüppchen hineinzieht, zu den dünnwandigen Zellen in der Tiefe der Grübchen kommt und von diesen begierig aufgesogen wird. Wenn dann später am Tage neuerdings Trockenheit eintritt, so schließen sich die Kalkschuppen als kleine Deckel wieder fest an die darunterliegende Oberhaut und beschränken so gut wie möglich die Verdunstung. Insbesondere verhindern sie die Wasserabgabe aus den dünnwandigen Zellen im Grunde der Grübchen, die sonst ganz unvermeidlich wäre, und die ein rasches Verdorren der ganzen Pflanze im Gefolge haben würde.

Eine ähnliche Bedeutung wie den Ausscheidungen von kohlen-saurem Kalk kommt auch den Salzkrusten zu, mit denen man die Blätter einiger Pflanzen auf dem dürrn Boden von Steppen und Wüsten in der Nähe von Salzseen und auf dem trockenen Gelände an den Meeresküsten überzogen findet. Die Salzkrusten, welche von der auf einer persischen Salzsteppe gesammelten *Frankenia hispida* abgelöst wurden, bestanden vorwaltend aus Kochsalz (*Chlornatrium*). In geringerer Menge enthielten sie Gips, schwefel-saure Magnesia, Chlorkalzium und Chlormagnesium. Da man an den eben bezeichneten Stellen mitunter auch

aus dem Erdreich Salzkristalle auswittern und als weißen Beschlag dem Boden aufliegen sieht, so glaubte man früher, daß die Salzkruften auf den Blättern und Stengeln gar nicht von den betreffenden Pflanzen, sondern von dem umgebenden Erdreiche herstammten und die Pflanzenteile überzogen hätten. Dem ist aber nicht so. Tatsächlich stammt das Salz, das man an den Blättern und Stengeln der Frankerien und Reaumurien, der *Hypericopsis Persica* sowie einiger Tamarix- und *Statice*-Arten beobachtet, aus dem Inneren der Blätter her. Es entsteht auf ganz ähnliche Weise wie die früher besprochene Kruste aus kohlensaurem Kalk auf den Blättern der Steinbreche. Die Oberfläche der Blätter erscheint bei allen den genannten Pflanzen dem freien Auge wie punktiert. Sieht man näher zu, so zeigt es sich, daß jedem Punkt ein kleines Grübchen entspricht, dessen tiefste Stelle von Zellen mit äußerst zarter Außenwand gebildet wird. An ganz jungen Blättern ist nur eine einzige solche dünnwandige Zelle im Grunde des seichten Grübchens zu sehen. Diese teilt sich aber, und zur Zeit, wenn das Blatt ganz ausgewachsen ist, sind aus einer Zelle durch Teilung zwei bis vier hervorgegangen. In der Umgebung dieser dünnwandigen Zellen sind überdies Spaltöffnungen in die Haut eingeschaltet, und aus diesen wird in der Regenzeit, wenn es an dem Standorte der genannten Pflanzen an Wasser nicht fehlt, wässerige Flüssigkeit hervorgepreßt, die reichlich Salze gelöst enthält. Diese Salzlösung zieht sich über die ganze Oberfläche des Blattes, und es bilden sich aus ihr in trockener Luft Kristalle, welche als kleine Drusen oder auch als zusammenhängende Kruften dem Blatt aufsitzen.

Sieht man diese Tamarisken, Frankerien und Reaumurien in regenloser Periode in der Mittagszeit von der Sonne beschienen, so glitzern die Salzkristalle an den Blättern und Stengeln und lassen sich durch Druck als feines kristallinisches, weißes Pulver ablösen. Kommt man aber nach einer hellen Nacht an dieselbe Stelle, so ist von Kristallen keine Spur zu sehen; die kleinen Blättchen erscheinen grün, sind aber von einer bitterlich-salzig schmeckenden Flüssigkeit überzogen und fühlen sich feucht und schmierig an. Die Salzkristalle haben durch ihre Hygroscopität aus der Luft im Laufe der Nacht Feuchtigkeit angezogen, sind zerfließen und zerronnen, und die Salzlösung überzieht nicht nur das ganze Blatt, sondern erfüllt auch die kleinen, dem freien Auge als Punkte erscheinenden Grübchen. Die dünnwandigen Zellen im Grunde der Grübchen, die im Gegensatz zu den anderen Oberhautzellen und den Schließzellen der Spaltöffnungen benetzbar sind, wirken als Saugzellen, und durch ihre dünnen Wände gelangt das durch die Salze der Luft entnommene Wasser in das Innere der Blätter.

Wird bei höherem Sonnenstande die Luft trocken, so bilden sich aus der Salzlösung wieder Kristalle, die als Kruften die Blätter neuerdings überziehen, auch die Grübchen ausfüllen und nun in den heißen Tagesstunden die Pflanzen vor einer zu weit gehenden Verdunstung schützen. Während demnach das Salz in der taufeuchten Nacht den Tamarisken, Frankerien und Reaumurien Wasser zuführt, schützt es dieselben tagüber gegen das Vertrocknen.

Zum Festhalten der Salzkristalle sind in der Umgebung der Saugzellen ganz ähnliche Papillen ausgebildet wie zum Festhalten der Kalkkruften an den Steinbrech- und Anthonlimonblättern. Auch sind die Blätter der mit Salzkristallen und Salzkruften überzogenen Pflanzen meistens mit kleinen Börstchen besetzt, an denen das Salz so festhängt, daß es selbst durch starkes Schütteln nicht leicht abgelöst werden kann.

So auffallend die Analogie zwischen der Ausbildung und Bedeutung von Kalkkruften und Salzkruften ist, so besteht doch ein wichtiger Unterschied darin, daß die Kalkkruften nicht gleich den Salzkruften die Fähigkeit haben, die Feuchtigkeit aus der Luft anzuziehen. Gerade

darauf ist aber ein besonderes Gewicht zu legen. In dem Ufergelände von Salzseen, wo besonders die Frankeniien und Tamarisken ihre Heimat haben, trocknet der Boden im Hochsommer so sehr aus, daß man kaum begreift, wie sich in ihm noch Pflanzen lebendig erhalten können. Auch in der Nähe der Meeresküste wird an vielen Orten Ähnliches beobachtet. Das Meereswasser dringt nicht weit über die Strandlinie in den Boden ein, und von einer Befeuchtung der den Strandpflanzen zur Unterlage dienenden Bodenschichten durch Grundwasser kann keine Rede sein. Wenn im Sommer monatelang der Regen ausbleibt, müßten diese Pflanzen selbst in nächster Nähe von Wasser an Wassermangel zugrunde gehen. Nur der Umstand, daß sie mit Hilfe der ausgeschiedenen Salze die Feuchtigkeit der Atmosphäre ausnutzen, macht ihr Gedeihen an diesen unwirtlichsten aller unwirtlichen Stellen möglich.

An vielen Pflanzen, die zeitweilig großer Trockenheit ausgesetzt sind, erscheinen die Enden der Zähne des Blattrandes zapfen- oder warzenförmig verdickt, dabei etwas glänzend und zeitweilig auch klebrig. Der Glanz und die Klebrigkeit rühren von einem harzig-schleimigen, häufig auch zuckerhaltigen, süß schmeckenden Stoffe her, welcher die Zähne überzieht und sich mitunter auch von den Zähnen hinweg noch weit einwärts über die obere Blattfläche als feine, firnisartige Schicht ausbreitet. Es wird dieser Überzug von eigenen Zellen ausgeschieden, welche sich in die Oberhaut der Blattränder gruppenweise einfügen und von den anderen Zellen der Oberhaut sofort dadurch unterscheiden, daß ihr Protoplasma bräunlich gefärbt ist und ihre Außenwand das Wasser leicht durchläßt. Die Ausscheidung der firnisartigen Schicht erfolgt zu der Zeit, wenn die ganze Pflanze von Saft strömt, also vorzüglich im Beginne der Vegetationszeit. Im Hochsommer trocknet der Firnis ein und bietet dann einen vortrefflichen Schutz gegen die Gefahr einer zu weit gehenden Verdunstung aus den von ihm bedeckten Zellen, zumal jenen Zellen an den Blatträndern, die ihn ausgeschieden haben. Wird diese eingetrocknete Firnis-schicht aber benetzt, so trinkt sie sich rasch mit Wasser und führt dann auch den von ihr überdeckten Zellen Wasser zu. Es kommt ihr daher eine ähnliche Bedeutung zu wie den Salzkrusten auf den Blättern der früher besprochenen Steppengewächse. Befeuchtet vermittelt sie die Aufsaugung von Wasser, eingetrocknet schützt sie gegen Verdunstung. Übrigens sei hier auch noch die Bemerkung eingeschaltet, daß die meisten der geschilderten Einrichtungen unter Umständen auch der Wasserausscheidung dienen können, worauf späterhin zurückzukommen sein wird.

Übrigens zeigen nicht etwa nur Steppengewächse, sondern auch sehr viele Pflanzen, die auf dem sandigen, humusarmen Boden am Ufer der Bäche und Flüsse angesiedelt sind, Einrichtungen zur direkten Aufnahme atmosphärischen Wassers, so namentlich die Lorbeer- und Bruchweide, die Pappeln, der Schneeball, die Traubekirsche und noch viele andere. Auffallend ist, daß diese Einrichtungen vorzüglich an den Blättern von Bäumen, Sträuchern und hohen Stauden, die Inkrustation mit Kalk aber immer nur an niederen Gewächsen mit rosettenförmig auf dem Boden ausgebreiteten oder starren, nadelartigen Blattgebilden beobachtet wird.

In manchen Fällen sind nur einige wenige Zähne des Blattrandes zu Saugvorrichtungen umgestaltet, und es ist dann immer vorgesorgt, daß Regen und Tau zu diesen Zähnen hingeleitet und von ihnen festgehalten wird. In dieser Beziehung kann die Eibe oder Zitterpappel (*Populus tremula*) als ein sehr hübsches Beispiel dienen. Dieser Baum hat bekanntlich zweierlei Blätter. Jene, welche von den Zweigen der Krone ausgehen, sind langgestielt und haben eine im Umrisse rundliche und am Rand etwas wellig gezähnte Spreite; die Blätter des Wurzelstöcklings sind kürzer gestielt, ihre Spreite ist größer, fast dreieckig,

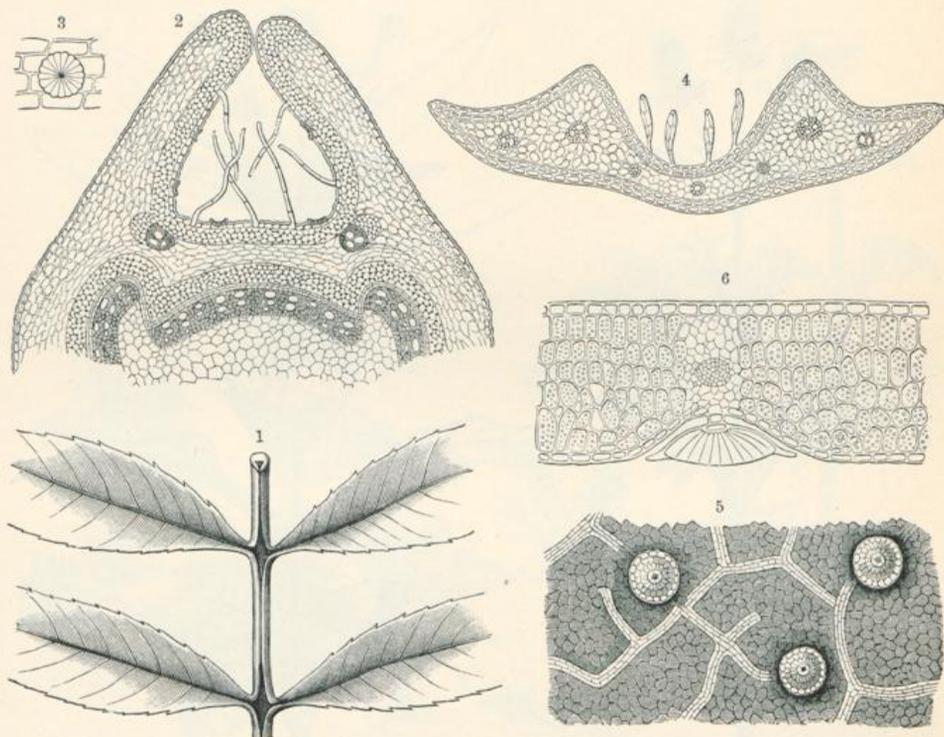
schräg aufwärts gerichtet, und das ganze Blatt ist so gestellt und sein Rand so gebogen, daß der herabfallende Regen, welcher die obere Seite trifft, gegen den Blattstiel herabfließen muß (s. Abbildung, S. 173, Fig. 1). Aber gerade an der Grenze der Blattspreite und des Blattstieles stehen zwei aus den untersten Blattzähnen hervorgegangene napfförmige Gebilde (s. Abbildung, S. 173, Fig. 2), und zwar so, daß jeder von der Blattspreite herabkommende Regentropfen die feichten Vertiefungen dieser beiden Näpfe treffen und sie mit Wasser füllen muß. Die Näpfe sind von brauner Farbe, haben die Größe eines Hirsekornes, und die Zellen ihrer Oberhaut sind mit einer dicken Kutikula versehen. Nur jene Zellen, welche die feichte Vertiefung des Napfes auskleiden, haben dünne Wandungen, und diese scheiden auch eine süß schmeckende, schleimig-harzige Substanz aus, die bei trockenem Wetter wie ein Firnis das Grübchen überzieht und jedenfalls auch die darunter befindlichen Zellen gegen eine nachteilige Wasserabgabe schützt. Mit Wasser in Berührung gesetzt, quillt aber dieser Überzug auf, das Wasser wird dann von den Zellen in der grubenförmigen Vertiefung aufgesogen und in die unter den Näpfen verlaufenden Gefäße (s. Abbildung, S. 173, Fig. 3) geleitet.

Ähnlich wie bei der Espe finden sich auch bei mehreren hohen Stauden, zumal aus der Gruppe der Korbblütler, Blattzähne an der Grenze von Blattstiel und Blattspreite ausgebildet, die als Saugvorrichtungen wirken. Bei einigen zieht sich überdies der Rand der grünen Blattspreite als ein schmaler Saum am weißlichen, rinnenförmigen Blattstiele herab, und es finden sich dann auch an diesem schmalen, grünen Saume längs der Rinne derlei Zähne ausgebildet. Bei *Telekia speciosa*, einer im südöstlichen Europa weitverbreiteten prächtigen Staudenpflanze, sind diese vom Rande der Blattstielrinne entspringenden zapfenförmigen oder keulenförmigen Zähne einwärts gekrümmt und überhaupt so gestellt, daß sie mit ihrer stumpfen Spitze in die Rinne hineinragen. Gerade an dieser stumpfen Spitze der Zähne finden sich aber Zellen mit sehr dünner, wasserdurchlassender Außenwand und mit wasseranziehendem Inhalt. Sobald nun Regenwasser von der Blattfläche her in die Rinne des Blattstieles fließt und diese anfüllt, werden die Spitzen der zapfenförmigen Zähne benetzt und saugen das Regenwasser auf.

An den Blättern mancher Pflanzen schließen die Ränder der rinnenförmigen Blattstiele nach oben zusammen, wodurch förmliche Kanäle gebildet werden. So ist z. B. der Stiel des Eschenblattes, der die paarweise angeordneten Teilblättchen trägt, an der oberen Seite mit einer Rinne versehen. Die durch ein sogenanntes Kollenchymgewebe befestigten Ränder dieser Rinne biegen sich auf und neigen sich über der Rinne zusammen. Dadurch entsteht ein Kanal, der nur dort auseinander klappt, wo von den dem Stiele seitlich aufsitzenden, dem Tropfenfall ausgesetzten Teilblättchen Regenwasser zufließt (s. Abbildung, S. 179, Fig. 1). Die haarförmigen sowohl als die schildförmigen Zellgruppen, die in den Rinnen und Kanälen ausgebildet sind (s. Abbildung, S. 179, Fig. 2 und 3), werden durch das zugeflossene Wasser nicht nur flüchtig benetzt, sondern, da sich dort das Wasser mehrere Tage nach dem Regen erhält, für diese Zeit in ein förmliches Wasserbad versetzt und können das Wasser sehr allmählich aufsaugen.

Bei vielen Gentianazeen, besonders auffallend bei dem großblumigen, stiellosen Enzian (*Gentiana acaulis*), bilden die kreuzweise gestellten, grundständigen Blattpaare eine Rosette (s. Abbildung, S. 181, Fig. 1). Der größere, vordere, dunkelgrüne Teil eines jeden Blattes ist flach und eben, nur die bleiche Basis ist rinnenförmig gestaltet. Dadurch, daß sich um diese Rinne herum das Gewebe des Blattes emporgewölbt, wird die Rinne noch mehr vertieft, und da alle Blätter der Rosette zusammengedrängt sind, erscheint die Rinne eines jeden tieferen Blattes von einer darüberstehenden Blattspreite bedeckt. In diesem versteckten Winkel

bleibt das in die Rinnen vom vorderen Teil des Blattes her zufließende Tau- oder Regenwasser längere Zeit stehen, ohne zu verdunsten, und daher haben Saugvorrichtungen für Wasser genügend Ruhe, es aufzunehmen. Als solche Saugvorrichtungen wirken im hintersten Winkel der Rinne lange, kolbenförmige, aus äußerst dünnwandigen Zellen zusammengesetzte Gebilde (s. untenstehende Abbildung, Fig. 4), und zwar so kräftig, daß abgeschnittene, etwas welke und an der Schnittfläche mit Siegellack verlebte Blätter, die mit Regenwasser übergoßen werden, binnen 24 Stunden nahezu 40 Prozent ihres Gewichts an Wasser aufnehmen.

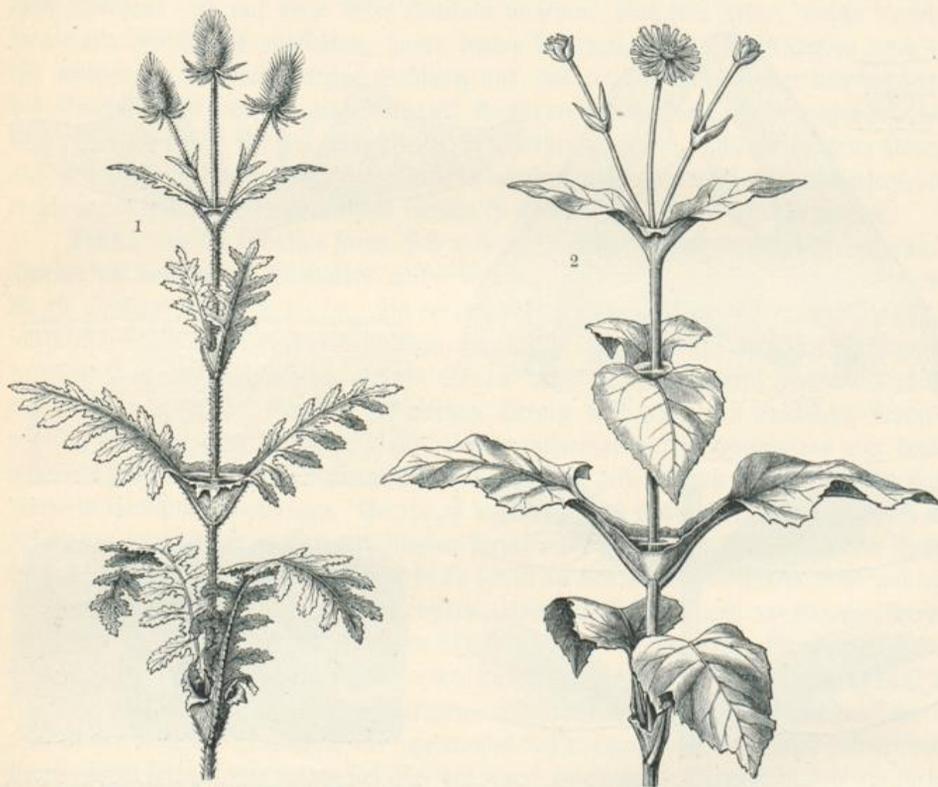


Aufnahme von Wasser durch Laubblätter: 1 rinnenförmige Spinzel eines Eichenblattes; 2 Durchschnitt durch dieselbe 30fach vergrößert; 3 eine schilbförmige Zellgruppe aus der Rinne; 4 Durchschnitt durch die Basis eines Blattes vom stiellosen Enzian, 20fach vergrößert; 5 untere Seite eines Blattes der gewimperten Alpenrose, 20fach vergrößert; 6 Durchschnitt durch ein Blatt der gewimperten Alpenrose, 80fach vergrößert. (Zu S. 178 und 184.)

Ähnlich verhält es sich auch mit mehreren in den Tropen auf der Borke der Bäume mit Klammernwurzeln haftenden Bromeliaceen, deren rinnenförmige Rosettenblätter sich so decken und so gruppiert sind, daß ein förmliches System von Zisternen entsteht. Im Grunde jeder Zisterne befinden sich besondere Haargebilde, welche das Regenwasser auffangen und nach den Stellen des Verbrauches hin abgeben.

Schließlich ist hier noch jener sonderbaren Becken im Bereiche der Laubblätter zu gedenken, in denen das angesammelte atmosphärische Wasser wochen-, ja monatelang stehen bleibt, ohne gegen die Verdunstung durch besondere Einrichtungen geschützt zu sein. An ihrer Bildung können alle Teile und Abschnitte des Blattes beteiligt sein. Bei *Saxifraga peltata* ist die Blattspreite schilbförmig und bildet eine flache, mit der ausgehöhlten Seite dem Himmel

zugewendete Schüssel; bei der Moltebeere (*Rubus Chamaemorus*) kommt die Beckenbildung dadurch zustande, daß sich die Ränder der nierenförmigen Blattspreite wie zu einer Tüte übereinander legen; bei den Wintergrünarten, zumal bei *Pirola uniflora*, sind die über den grünen grundständigen Blättern folgenden blassen Stengelblätter in kleine Schüsselchen umgewandelt; bei einer Art Kardendistel, *Dipsacus laciniatus* (s. untenstehende Abbildung, Fig. 1), und bei dem nordamerikanischen *Silphium perfoliatum* (Fig. 2) sind die beiden scheidenförmigen Teile von je zwei und zwei gegenüberstehenden Blättern miteinander verwachsen und



Wasserbecken: 1 an einer Kardendistel, *Dipsacus laciniatus*; 2 an dem amerikanischen *Silphium perfoliatum*.

bilden trichterförmige, verhältnismäßig große und tiefe Becken, aus deren Mitte sich das darüber folgende Stengelglied erhebt. Bei mehreren Wiesenrauten (*Thalictrum galioides*, *simplex* usw.) sind die gegenüberstehenden und fast wie die zwei Schalen einer Muschel zusammenschließenden Nebenblättchen zu Höhlungen ausgestaltet, welche das Wasser festhalten, und bei vielen Doldenpflanzen, namentlich bei *Heracleum* und *Angelica*, ist die Blattscheide jedes einzelnen Blattes ausgebaucht oder wie aufgeblasen und bildet eine sackartige Umhüllung des darüberstehenden Stengelgliedes.

Diese Becken, Schalen und Schüsseln sind immer so gestellt, daß das Regen- und Tauwasser von den Blattflächen her oder über das aus ihrer Mitte aufragende Stengelglied zu den Vertiefungen geleitet wird. Ob von dem angesammelten Wasser in allen Fällen eine ausgiebige Menge aufgesogen wird, muß freilich bezweifelt werden. Die Blätter der

unten (Fig. 2) abgebildeten Alchimilla, an denen die Erscheinung so auffallend hervortritt, daß der Volksmund diese Pflanze Taubecher genannt hat, nehmen mit Hilfe der gerbstoffreichen Zellen im Grunde des Bechers verhältnismäßig nur wenig Wasser auf, und es werden hier durch Zurückhalten des Taus jedenfalls noch andere Vorteile erreicht. Für hohe Staudenpflanzen, besonders in den Prärien und Steppen, wo oft längere Zeit kein Regen fällt, könnte angenommen werden, daß das in den Becken angesammelte Wasser von den dort entwickelten Drüsenhaaren und dünnwandigen Oberhautzellen aufgenommen wird. Diese Annahme läßt



Haare und Blätter, welche Tau und Regen zurückhalten: 1 stielloser Enzian (*Gentiana acaulis*); 2 Taubecher (*Alchimilla vulgaris*); 3 Hühnerdarm (*Stellaria media*). (Zu S. 169, 178, 181 und 182.)

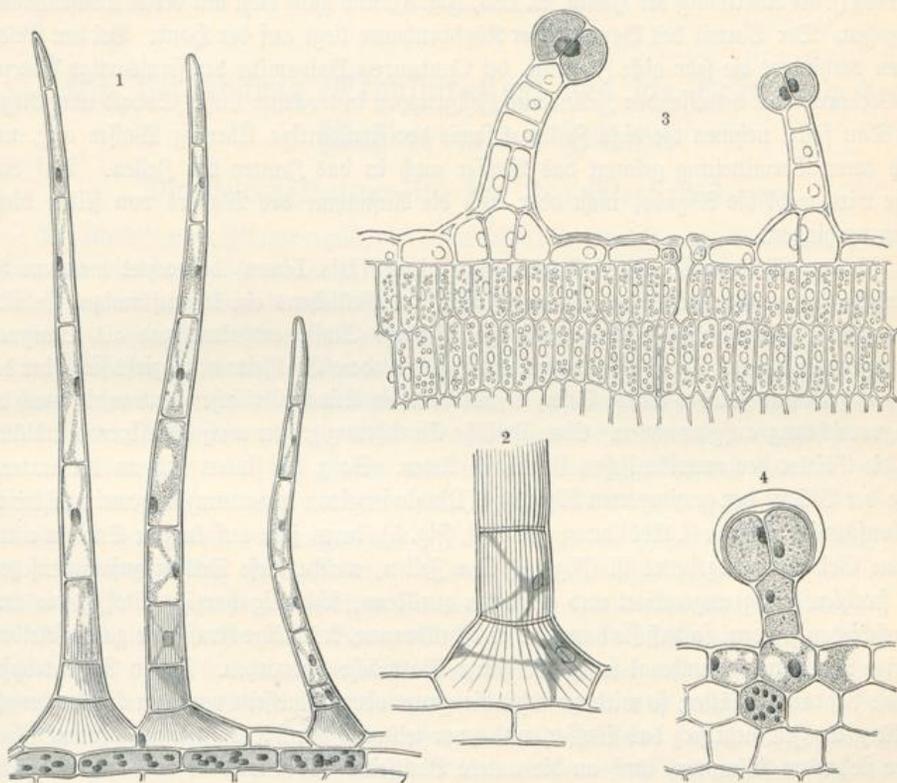
sich durch einen sehr einfachen Versuch stützen. Schneidet man einen Stengel des auf S. 180 abgebildeten Silphium unterhalb des zu einem Becken zusammengewachsenen Blattpaares ab und verklebt die Schnittfläche mit Siegellack, so daß durch den Stengel von untenher kein Wasser aufgenommen werden kann, und leert man nun das in dem Becken angesammelte Wasser aus, so werden die Blätter in kurzer Zeit welk und hängen schlaff herab; sobald man aber das Becken mit Wasser gefüllt läßt, erhalten sich auch die Blätter noch lange frisch und beginnen erst zu welken, wenn sämtliches Wasser des Beckens verdunstet und verschwunden ist. Gießt man Öl über das im Becken angesammelte Wasser, wodurch eine Verdunstung des letzteren verhindert wird, so sieht man nichtsdestoweniger eine stete Abnahme der das Becken erfüllenden Wassermasse, und es läßt sich daraus entnehmen, daß dieses Wasser wirklich von den im Grunde des Beckens befindlichen Saugzellen aufgenommen wird.

Von anderer Seite ist die Aufnahme des Wassers aus den Sammelbecken bei *Dipsacus silvestris* bestritten worden, obwohl auch hier beobachtet wurde, daß Pflanzen mit gefüllten Becken ihre Blätter wenigstens einige Tage frischer erhielten als solche ohne Wasseransammlung. Es ist wohl anzunehmen, daß selbst, wenn eine Wasseraufnahme aus dem Becken bei dieser Pflanze nicht nachweisbar wäre, doch das verdampfende Wasser die über dem Becken stehenden Stengelteile mit einer feuchteren Atmosphäre umgibt. Auffallend ist die ungeheure Menge von Drüsen, welche die Beckeninnenseite enthält (bei *Dipsacus silvestris* über 4000). Diese scheiden fadenförmige Schleimmassen ab, die das Wasser schleimig machen. Es könnte auch, wie einige Beobachtungen möglich erscheinen lassen, die Wasseransammlung in dem Becken einen Schutz der Pflanzen gegen Schnecken- und Raupenfraß bedeuten, die, wenn man die Becken durchlöchert und trocken legt, häufig schnell über die Blätter herfallen, die sie sonst nicht ersteigen können. Jedenfalls müssen solche auffallende Einrichtungen in einer oder der anderen Richtung für die Pflanzen von Bedeutung sein. Die Frage nach dem „Warum“ einer biologischen Einrichtung ist oft mehrfach und daher schwer befriedigend zu beantworten und ist deshalb in einzelnen Fällen nicht wissenschaftlich. Das „Wie“, d. h. die Tatsache, bleibt aber immer in ihrer eigenartigen Form interessant.

Während Haarbildungen bei manchen Pflanzen, namentlich vielen Tropengewächsen, als wasserauscheidende Organe dienen, worauf S. 169 hingewiesen ist, kommen auch Fälle vor, wo solche Hydathoden in beschränktem Maße Wasser aufnehmen können, wobei sie dann häufig wieder auf Blättern entstehen. Diesen Haaren kommt, abgesehen von anderen Funktionen, in vielen Fällen unzweifelhaft auch die Bedeutung von Saugorganen zu. Man kann von ihnen zwei Gruppen unterscheiden: erstens solche, deren unterste Zellen, und zweitens solche, deren oberste Zellen Wasser auffaugen. Daß nur die untersten Zellen solcher Haare zu Saugzellen werden, wurde an *Alfredia cernua*, *Salvia argentea* und mehreren anderen Steppenpflanzen beobachtet. Auch an der weitverbreiteten *Stellaria media*, welche unter dem deutschen Volksnamen „Hühnerdarm“ bekannt ist, wurde Ähnliches gesehen. An den Gliedern des Stengels dieser Pflanze finden sich Leisten aus dicht aneinander gereihten Haaren, die von Knoten zu Knoten herablaufen. Gewöhnlich zeigt nur eine Seite des Stengels eine solche Haarleiste, und diese endigt immer dort, wo an den knotenförmigen Verdickungen des Stengels zwei gegenständige Blätter entspringen. Die Stiele dieser Blätter sind etwas rinnenförmig und an den Rändern mit Haaren wie von Wimpern besetzt. Die Haarleisten an den Stengelgliedern werden von dem Regenwasser leicht benetzt und halten auch ziemlich viel Wasser fest. Was sie nicht mehr zurückhalten können, leiten sie nach abwärts zu den bewimperten Ansatzpunkten der nächst tieferen beiden Blätter, wo dann das Wasser durch die Wimpern förmlich getragen wird und sich zu einem den Stengelknoten umgebenden Wasserring ansammelt (s. Abbildung, S. 181, Fig. 3). Wird auch diese Wasseransammlung so umfangreich und so schwer, daß sie durch die Wimpern nicht mehr festgehalten werden kann, so gleitet der Überschuß an der einseitigen Haarleiste des nächsten Stengelgliedes zu dem tieferen Blattpaare hinab. Nach einem Regen sieht man daher jeden Knoten des Stengels, von dem Blätter ausgehen, wie von einem Wasserbad umgeben, und auch die Haarleisten sind so von Wasser erfüllt, daß sie einer Kante aus Glas ähnlich sehen. Sämtliche Zellglieder eines jeden Haares sind mit Protoplasma und Zellsaft erfüllt, aber nur die untersten, sehr verkürzten Zellen sind wirklich als Saugzellen tätig. Sie ziehen das Wasser an, und diese Zellen erlangen, wenn sie in trockener Luft etwas erschlafft waren, was sich durch das Entstehen feiner streifenförmigen Falten der Kutikula an

der äußeren Zellwand zu erkennen gibt (s. untenstehende Abbildung, Fig 1 und 2), nach erfolgter Benetzung ihren Turgor wieder, wodurch auch die feinen Falten an der Oberhaut sofort geglättet werden. Die oberen Zellglieder des Haares, obschon sie eine schwächere Kutikula besitzen, scheinen dagegen kein Wasser aufzusaugen und der Speicherung des Wassers zu dienen.

Häufiger kommt es vor, daß die obersten Zellen eines gegliederten Haares als Saugzellen ausgebildet sind. Gewöhnlich ist dann die oberste Zelle kugelig oder ellipsoidisch und größer als die anderen, oder sie hat sich in zwei oder vier oder noch mehr



1 Stengelhaare von *Stellaria media*, 110fach vergrößert; 2 unterste Zellen dieser Haare, 200fach vergrößert; 3 Köpfchenhaare von *Centaurea Balsamita*, 150fach vergrößert; 4 Köpfchenhaare von *Pelargonium lividum*, 150fach vergrößert.

Zellen geteilt, welche zusammengenommen ein Köpfchen darstellen, das von den unteren Zellen wie von einem Stiele getragen wird (s. obenstehende Abbildung, Fig. 3 und 4). Man nennt solche Gebilde in der botanischen Kunstsprache Köpfchenhaare oder Drüsenhaare. Der Inhalt der Zellen des Köpfchens ist meistens dunkel gefärbt, und die Zellhaut läßt das Wasser, das von dem Zellinhalte mit großer Energie angezogen wird, leicht passieren. Manchmal ist zwar die Zellhaut ziemlich dick, sobald aber Wasser mit ihr in Berührung kommt, wird die äußere Schicht der Zellhaut abgehoben; auch die tieferen Schichten quellen auf, und durch diese gequollenen Schichten gelangt das Wasser in das Innere der Zelle. So verhält es sich z. B. bei vielen *Pelargonien* und *Geranien*, deren Köpfchenzellen bei jeder Wasseraufnahme einen förmlichen Häutungsprozeß durchmachen (s. obenstehende Abbildung, Fig. 4). An anderen Pflanzen

ist die Wand dieser Köpfcenzellen zu allen Zeiten dünn, und nicht nur der Zellinhalt besteht aus einer gummiartigen, klebrigen Masse, sondern auch die äußere Seite der Wand ist mit einer ausgeschiedenen klebrigen Schicht überzogen. In vielen Fällen breitet sich dann die von dem Köpfcen ausgeschiedene klebrige Masse über die ganze Oberfläche des Blattes aus, so daß sich dieses ganz klebrig anfühlt und wie mit Firnis überzogen erscheint. Manche in Felsrigen wurzelnde Pflanzen sowie auch nicht wenige staudenförmige Steppenpflanzen, für welche als Beispiel die in den persischen Hochsteppen vorkommende *Centaurea Balsamita* gewählt sein mag (s. die Abbildung der Haare, S. 183, Fig. 3), sind ganz dicht mit derlei Drüsenhaaren überzogen. Der Vorteil des Baues dieser Köpfcenhaare liegt auf der Hand. Bei den Belaragonien verhindert die sehr dicke Zellhaut, bei *Centaurea Balsamita* der firnisartige Überzug das Verdorren der betreffenden Zellen und Zellgruppen in trockener Luft. Sobald aber Regen oder Tau fällt, nehmen die dicke Zellhaut sowie der firnisartige Überzug Wasser auf, und durch deren Vermittelung gelangt das Wasser auch in das Innere der Zellen. Auf diese Weise wird wohl die Abgabe, nicht aber auch die Aufnahme des Wassers von seiten dieser Zellen verhindert.

An den Blättern der Preiselbeere (*Vaccinium Vitis Idaea*) beobachtet man an der Unterseite kleine Grübchen und in der Mitte jedes Grübchens ein keulenförmiges Gebilde, dessen kleine, dünnwandige Zellen schleimige, klebrige Stoffe enthalten und als Saugvorrichtungen tätig sind. Das Regenwasser, welches die obere Blattseite neigt, zieht sich über den Rand des Blattes an die untere Seite, erfüllt dort die kleinen Grübchen und wird durch die Saugvorrichtung aufgenommen. Eine ähnliche Einrichtung zeigen auch die Alpenrosenblätter und die Blätter der amerikanischen *Bacharis*-Arten. So z. B. finden sich an der unteren Seite der Blätter der gewimperten Alpenrose (*Rhododendron hirsutum*) ungemein zahlreiche scheibenförmige Drüsen (s. Abbildung, S. 179, Fig. 5), deren jede auf kurzem Stiel in einem kleinen Grübchen eingebettet ist (Fig. 6). Die Zellen, welche diese Drüsen zusammensetzen, sind strahlenförmig angeordnet und enthalten quellbare, schleimig-harzige Stoffe, die auch ausgeschieden werden, so daß sie dann als eine hellbraune, krümelige Kruste die ganze scheibenförmige Drüse und manchmal sogar die ganze Blattfläche überziehen. Fallen Regentropfen auf die Alpenrosenblätter, so wird zunächst die ganze obere Blattseite von dem Wasser benetzt. In kürzester Zeit zieht sich das Wasser, und zwar teilweise durch Vermittelung der am Blattrande stehenden Wimpern, auch an die untere Blattseite. Dort wird es von der erwähnten krümeligen Kruste aufgenommen, und diese quillt sofort auf. Aber auch die Grübchen, in denen die Drüsen sitzen, füllen sich mit Wasser, und jede Drüse ist jetzt in der Lage, nach Bedarf Wasser aufzusaugen. Da die Drüsen regelmäßig über den Gefäßbündeln des Blattes ausgebildet sind (s. Abbildung, S. 179, Fig. 6), so kann das aufgesogene Wasser auch in kürzester Zeit durch diese zu den Stellen des Verbrauches hingeleitet werden. Sobald die Blätter der Alpenrosen wieder trocken werden, bildet auch die harzig-schleimige Masse über den Drüsen wieder eine trockene Kruste und schützt die zartwandigen Zellen der Drüsen gegen eine zu weit gehende Verdunstung.

Diese in ihrer Mannigfaltigkeit recht merkwürdigen Erscheinungen der Wasserausscheidung und Aufsaugung von auf Blättern gebildeten kleinen Organen, die bei mehreren hundert Pflanzenarten beobachtet und beschrieben sind, erklären sich durch die besonderen Bedingungen, unter denen solche Pflanzen leben. Namentlich die Aufnahme der kleinen Wassermengen durch Hydathoden kann wohl einem augenblicklichen Bedürfnis der betreffenden

Pflanze genügen, spielt aber niemals die Hauptrolle bei der Wasserversorgung. Diese geht allgemein bei im Boden wurzelnden Pflanzen vom Wurzelsystem aus, aber es ist, da die Verbrauchsorte des Wassers von den Wurzeln entfernt liegen, leicht einzusehen, daß es mit der bloßen Aufnahme des Wassers aus dem Boden nicht getan ist. Vielmehr muß das Wasser nun seinen Weg durch die Pflanze antreten, und indem wir uns jetzt diesen Vorgängen zuwenden, betreten wir eines der wichtigsten Kapitel der Pflanzenphysiologie.

5. Die Verdunstung (Transpiration) und die Bewegung des Wassers in der Pflanze.

Die Leitungsbahnen für den Transpirationsstrom.

Die Analyse einer Pflanze ergibt, daß das Wasser dem Gewicht nach alle übrigen Pflanzenbestandteile überragt, aber wenn die Pflanze dementsprechend viel Wasser aufnehmen muß, so ist es zunächst überraschend, daß sie die größte Menge des mühsam aufgenommenen Wassers gar nicht bei sich behält, sondern in jedem Momente davon wieder einen Teil von ihren oberirdischen Organen in die Luft verdunsten läßt. Von dieser Verdunstung kann man sich leicht überzeugen, wenn man eine im befeuchteten Boden wurzelnde Pflanze unter den nötigen experimentellen Vorsichtsmaßregeln mit einer Glasglocke überdeckt. An deren Wand schlägt sich, wenn die Temperatur nicht hoch ist oder man die Glocke abkühlt, bald das von den Blättern der Pflanze verdunstete Wasser nieder und fließt schließlich in Tropfen zusammen. Diese Verdunstung ist eine Arbeit, die bei größeren Pflanzen oder einer größeren Genossenschaft einen ganz erheblichen Betrag erreichen kann. Eine kräftige Tabakpflanze oder eine mannshohe Sonnenrose kann schon im Laufe eines Julitages 800—1000 ccm Wasser aufnehmen und aus ihren Blättern verdunsten. Eine große Birke mit 200 000 Blättern verdunstet täglich durchschnittlich 60—70 Liter, an heißen trocknen Tagen natürlich viel mehr als an kühlen und feuchten, während des ganzen Sommers verdunstet sie 7000 Liter Wasser; eine 110jährige Buche 9000 Liter und ein Wald von Buchen, der 400 Stämme auf einem Hektar enthält, müßte das gewaltige Quantum von 3600 000 Liter Wasser an die Luft abgeben. Nadelhölzer verdunsten wegen des Baues ihrer Blätter 7—10mal weniger als Laubhölzer.

Läßt man eine Pflanze ihr Wasser so verdunsten, daß man diesen Vorgang sehen kann, wie bei dem oben empfohlenen Versuch unter einer Glasglocke, so könnte man wohl glauben, die Wasserverdunstung der Pflanzenorgane sei im wesentlichen dasselbe wie die Verdunstung von Wasser aus einem offenen Gefäß oder die eines angefeuchteten Tuches, das man auf dem Rasen ausbreitet; denn wir beobachten, wenn wir der Pflanze kein Wasser wieder zuführen, z. B. einen abge schnittenen belaubten Zweig auf dem Tische liegen lassen, daß er alles Wasser an die Luft abgibt und vollständig vertrocknet.

Das Studium lebender Pflanzen ergibt aber, daß sie in ganz anderer Weise verdunsten wie ein toter feuchter Gegenstand, nämlich, daß ihre Wasserabgabe durch die Zellen vor sich geht und durch diese in ganz eigenartiger Weise geregelt wird. Wegen der Verschiedenheit der pflanzlichen Verdunstung von der gewöhnlichen physikalischen Erscheinung der Verdampfung von Wasser hat man für erstere die Wortbezeichnung *Transpiration* angenommen.

Bei allen Pflanzen, höheren wie niederen, soweit sie an der Luft leben, ist eine Transpiration vorhanden. Bei untergetaucht lebenden Wasserpflanzen fällt sie natürlich fort. Bei den höheren Pflanzen ist nun der Umstand in die Augen springend, daß das Wasser, ehe es aus den Blättern transpiriert wird, oft einen langen Weg zurücklegen muß. Können doch die Eukalyptusbäume Australiens, die Mammutbäume Kaliforniens nahezu 100 m hoch werden, und solche Höhen muß der innere Wasserstrom in diesen Pflanzen erklimmen, um hoch oben in der Krone wieder verdampft zu werden. Das erscheint im ersten Augenblick als eine ganz sinnlose Einrichtung. Aber sie ist es nicht, wenn wir uns erinnern, daß sich von der Wurzel bis zum Gipfel nicht reines Wasser bewegt, sondern daß, in diesem aufgelöst, die von der Wurzel aufgenommenen Bodensalze und die in der Pflanze entstandenen Zuckerarten, Eiweißstoffe und andere organische Verbindungen vom Wasser nach allen Orten des Verbrauchs verbreitet werden. Die festen Stoffe sollen in der Pflanze bleiben und Verwendung finden; das Transportmittel, das Wasser, ist, nachdem es seine Arbeit getan, überflüssig und verdunstet in die Luft. Dieser fortwährende und niemals ruhende Transpirationsstrom, der durch die Pflanze geht, dient also der Ernährung und ist eine der notwendigsten Lebenserscheinungen der Pflanze. Da es sich nun nicht um den Transport reinen Wassers, sondern einer wenn auch sehr dünnen Lösung chemischer Verbindungen handelt, so nennt man diese Flüssigkeit wohl auch den „Saft“ oder „Nahrungssaft“ und spricht vom „Saftsteigen“. In der Botanik hat man diese älteren Ausdrücke fallen lassen und spricht in den Lehrbüchern allgemein von der „Wasserbewegung“ in der Pflanze. Das sei zur Aufklärung erwähnt; um so mehr als auch hier der Ausdruck Wasser für den Nahrungssaft abwechselnd gebraucht wird.

Wenn sich ein Wasserstrom in der Pflanze bewegen soll, muß er bestimmte Wege einschlagen, und nach diesen müssen wir uns zunächst umsehen. Wie in einem früheren Kapitel erläutert wurde, besteht der Pflanzenkörper im wesentlichen aus geschlossenen Zellen. Es entstehen wohl auch aus Zellen offene Röhren, aber keine Pflanze ist, wie etwa das Tier durch sein Blutgefäßsystem, mit einem offenen Röhrensystem für die Leitung des Wassers ausgerüstet. Darum hat es auch verhältnismäßig lange gedauert, bis man die Leitungsbahnen in der Pflanze aufgefunden hat, und man ist auch heute über sie noch lange nicht so im klaren, als es für eine ausreichende Einsicht erwünscht wäre. Das Verständnis der Saftbewegung ist besonders deshalb schwierig, weil keine der physikalischen Möglichkeiten derselben zu dem anatomischen Bau der Pflanze stimmen will. Daher sind denn auch heute unsere Vorstellungen vom Saftsteigen noch recht unvollkommen.

Als Leitungsbahnen hat man die Gefäßbündel erkannt, die, von der Wurzel durch den Stengel verlaufend, sich in den Blättern als Adernetz auf das feinste verzweigen und in ein unendlich fein zerteiltes Netz kleiner Stränge auflösen, die blind zwischen den Zellen des Blattgewebes endigen. In den Baumstämmen und Sträuchern bilden sich die Gefäßbündel zu den bekannten zusammenhängenden Holzzylindern aus. Daß bei den Bäumen wirklich das Holz den Transpirationsstrom leitet, zeigen zur Genüge alte Bäume, deren Stamm längst hohl geworden, deren Mark also verwittert und herausgefallen ist, die auch der Rinde an ihrer Basis zum Teil beraubt worden sind, und die doch weiterleben. In den Ölbaumplantagen am Gardasee, deren eine auf der beigehefteten Tafel „Olivenhain am Ufer des Gardasees“ abgebildet ist, sieht man häufig Bäume, deren unterster Stamnteil nicht nur entrindet und ausgehöhlt, sondern auch mehrfach durchlöchert und durchbrochen ist, so daß der obere Teil des Baumes wie auf zwei Stelzen ruht und mit dem Boden nur durch die aus Holzzellen



Olivenhain am Ufer des Gardasees.

und Gefäßen zusammengesetzten, nach abwärts in die Wurzeln übergehenden Stelzen verbunden ist. Und dennoch sind diese Obäume noch lebenskräftig, treiben alljährlich neue Zweige und Blätter, blühen und fruchten und decken ihren Bedarf an Nahrung aus dem Boden durch Zuflüsse, die nach aufwärts keinen anderen Weg als den durch das Holz dieser Stelzen haben. Es wurde übrigens auch durch Versuche der Nachweis geliefert, daß die Bündel aus Holzzellen und Gefäßen, welche im Stamme der Bäume und Sträucher zu einem zwischen Mark und Rinde eingeschalteten Holzzylinder zusammenschließen, der Leitung des rohen Nahrungsaftes dienen. Wird an einem belaubten Bäumchen, dessen Blätter jeden Augenblick Wasser verdunsten, aber von untenher mit Wasser versorgt werden, ein ringförmiges Stück der Rinde des Stammes abgelöst, so wird dadurch der Zufluß des Wassers in die Blätter nicht unterbrochen; die Blätter bleiben prall und krafft.

Die Holzzellen oder Tracheiden stellen in die Länge gestreckte Kammern von durchschnittlich 1 mm Länge und 0,05—0,1 mm Weite dar; ihre Wände sind ungleichmäßig verdickt und zeigen entweder schraubig an der Innenwand angeordnete einfache Tüpfel oder sogenannte Hoftüpfel, welche auf S. 44 abgebildet und ausführlich beschrieben wurden. Die Holzgefäße sind röhrenförmig, im Verhältnis zu ihrer Weite, die immer nur Bruchteile eines Millimeters beträgt, sehr lang, durchziehen ohne Unterbrechung Stengel, Zweige und Blätter, und es ist auch möglich, daß sie sich bei kleinen Erdpflanzen von der Wurzelspitze bis zum obersten Ende der Achse erstrecken. Sie sind aus reihenweise übereinander geordneten Zellen dadurch hervorgegangen, daß die Zwischenwände dieser Zellen aufgelöst wurden. Die Wände der Holzgefäße zeigen neßförmige oder vorspringende Leisten oder gleichfalls gehöfte Tüpfel. Wenn die Kammern und Röhren des Holzes mit allen ihren Hoftüpfeln und den aussteifenden Leisten vollkommen ausgebaut sind, so verschwinden die lebendigen Protoplasten, welche den Ausbau besorgen, aus den Stätten ihrer Tätigkeit. Es fehlt daher in den fertigen Holzzellen und Holzröhren an dem lebendigen protoplasmatischen Inhalte. Sie vermögen dann nicht mehr weiterzuwachsen, und es kommt in ihnen auch niemals zu jenem Zustande des gegenseitigen Druckes von Wand und Inhalt, wie er in von lebendigen Protoplasten bewohnten Zellräumen beobachtet wird, und den man Turgor genannt hat.

Ehemals glaubte man, daß die Holzgefäße und die verholzten Zellen der Durchlüftung dienten und daß sie den Atmungsorganen der Insekten, den sogenannten Tracheen, zu vergleichen seien, was auch zu der Bezeichnung Tracheen und Tracheiden Veranlassung gab.

In den Wänden der Holzzellen sowohl als auch der Holzröhren ist Holzstoff (Lignin) eingelagert. Damit scheint es zusammenzuhängen, daß dieselben weit weniger quellbar sind als die Wände von Zellen, welche vorwiegend aus Zellstoff bestehen. Die Menge des Wassers, das zwischen die Molekülgruppen der verholzten Wände eindringt, und mit dem sich diese Zellwände tränken, ist vergleichsweise sehr gering; andererseits wurde ermittelt, daß dieses eingedrungene Wasser durch die verholzten Wände der Zellkammern und Röhren viel rascher geleitet wird als in den nicht verholzten, vorwiegend aus Zellstoff gebildeten Wänden.

Bei weitem ausgiebiger als in den verholzten Wänden könnte zweifellos die Bewegung des Saftes im Inneren der Holzröhren und Holzzellen stattfinden. Im Gegensatz zu der erwähnten früheren Meinung, daß diese Innenräume nur der Durchlüftung dienen, ist man jetzt der Ansicht, daß gerade diese Innenräume die Hauptbahnen des rohen Nahrungsaftes sind, obwohl diese Ansicht nicht ganz ohne Einwände dasteht. Daß die Leitung dieses Saftes in den röhrenförmigen Gefäßen rascher als durch die viel kürzeren Holzzellen erfolgt, versteht sich allerdings

von selbst, allein das Holz der Nadelbäume enthält überhaupt keine Gefäßröhren. Der durch die Holzzellen strömende Saft muß aber unzähligemal durch die eingeschalteten Querwände filtrieren. Diese Filtration wird nun allerdings durch die Hoftüpfel, mit denen die Holzzellen so regelmäßig ausgestattet sind, gefördert; denn durch die unendlich zarte Haut, die zwischen den beiden Höfen ausgespannt erscheint (s. Abbildung, S. 44, Fig. 2), kann der Saft wahrscheinlich durchpassieren. Die Hoftüpfel machen den Eindruck von Klappenventilen und scheinen zur Regelung der Saftströmung zu dienen, indem sie das rasche Zurücksinken des bis zu einer gewissen Höhe gehobenen Saftes verhindern. Je mehr sich die Strombahnen des Nahrungssaftes den Stellen nähern, an denen die Verdunstung stattfindet, desto einfacher werden die saftleitenden Stränge, indem die Gefäße in ihnen immer spärlicher werden. Die Enden der ganzen Saftleitungsanordnung bestehen ausschließlich aus einem Gefäß, dessen Wände durch schraubenförmige, nach innen vorspringende Leisten ausgesteift sind. Zwischen jedem solchen Ende und den verdunstenden Zellen sind dann noch einige parenchymatische Zellen mit lebendigem protoplasmatischem Inhalt eingeschaltet, während die Röhren und Kammern der Leitungsbahnen kein lebendes Protoplasma enthalten.

Zimmerhin erscheinen alle diese anatomischen Einrichtungen nicht so zweckmäßig nach unseren Begriffen, um das Saftsteigen leicht begreiflich zu machen. Wir stoßen aber noch auf eine andere Schwierigkeit. Bei hohen Bäumen handelt es sich darum, das Wasser der Schwerkraft entgegen senkrecht auf beträchtliche Höhen zu heben. Dazu brauchte ein Mensch Muskelkraft, indem er das Wasser in jene Höhe hinausträgt oder indem er Maschinen, Pumpen anwendet. Wie macht es die Pflanze, diese gewaltige Arbeitsleistung ohne jede sichtbare Druck- oder Hebevorrichtung in aller Stille zu vollführen, als ob es sich von selbst verstände und das physikalische Gesetz der Schwere für sie nicht existierte? Wir müssen also auch untersuchen, durch welche Kräfte das Saftsteigen in diesen Leitungsbahnen veranlaßt wird. Darüber sind im Laufe der Jahrzehnte verschiedene Meinungen ausgesprochen worden.

Der Wurzeldruck.

Schon im 18. Jahrhundert hat man das Saftsteigen aus Vorgängen zu erklären versucht, welche sich in den Wurzeln abspielen. Es ist bekannt, daß die parenchymatischen Zellen der Wurzeln einen Inhalt besitzen, der infolge seiner chemischen Affinität zu dem Wasser des Nährbodens dieses mit großer Kraft anzieht, oder mit anderen Worten, daß das Bodenwasser durch Endosmose in das Innere dieser Pflanzenzellen gelangt. Infolgedessen nimmt der Inhalt dieser Zellen an Masse zu, es wird dadurch von innen her ein Druck auf die Zellwand ausgeübt, die Zelle wird durch den inneren Wasserdruck in einen Zustand versetzt, den man Turgeszenz genannt hat. Dieser innere Druck kann nun einen verschiedenen Erfolg haben. Erstens könnte der Fall eintreten, daß der Druck des Zellinhaltes die Kohäsion der Zellwand überwiegt, und daß infolgedessen die Zellwand zerreißt und der Zellinhalt aus dem gebildeten Riß austritt. Das sieht man an gewissen Zellen des Blütenstaubes oder Pollens, wenn man sie mit reinem Wasser in Verbindung bringt; die Zellen nehmen im Verlauf von einer oder zwei Sekunden so viel von dem zugefügten Wasser auf, daß sie den doppelten Umfang erreichen; aber noch immer saugt der Zellinhalt Flüssigkeit auf, die Zellwand kann endlich dem Drucke nicht weiter widerstehen und plagt, der Inhalt, von dem der Druck ausgegangen,

strömt dann im Nu aus dem Risse hervor und verteilt sich in dem umgebenden Wasser. Zweitens kann man sich vorstellen, die Zelle sei in ihrem ganzen Umfange so gebaut, daß sie dem Wasser zwar den Eintritt, nicht aber auch den Austritt gestattet, daß also der Zellinhalt zwar Wasser aufsaugt, eine Filtration des aufgenommenen Wassers nach außen aber nicht stattfindet. Gesezt den Fall, es würde dabei die Zellhaut, entsprechend ihrer Elastizität, dem Drucke des Zellinhaltes zwar nachgeben, es würde aber die Elastizitätsgrenze nicht überschritten werden, so müßte es zu einem Zustande der Spannung kommen, in dem der gegenseitige Druck des Zellinhaltes und der Zellhaut sich das Gleichgewicht halten. So verhalten sich auch im allgemeinen die Zellen; der in ihnen herrschende Druck ist ein osmotischer Druck. Dieser Druck allein würde jedoch noch zu keiner Wasserbewegung führen. Es ist aber auch noch ein dritter Fall möglich. Angenommen, der Filtrationswiderstand der Plasmahaut der Zelle wechselte, so müßte bei zunehmendem Drucke des Zellinhaltes auf die Zellwand Flüssigkeit durch die filtrationsfähige Haut hindurchgepreßt werden, und zwar desto mehr und desto energischer, je größer die Affinität des Zellinhaltes zum Wasser des Nährbodens wäre. Dieser Fall wird bei einigen Schimmelpilzen, namentlich an dem so häufig auf Fruchtsäften sich einstellenden Köpfschimmel und dem zierlichen, auf Dünger wachsenden *Pilobolus*, aber auch an dem Myzelium des Hausschwammes beobachtet. Von dem unteren, dem Nährboden aufliegenden Teile der schlauchförmigen Zellen wird Flüssigkeit mit großer Energie aufgesogen, und aus den oberen, frei in die Luft ragenden Teilen derselben Zellen wird Flüssigkeit durch die Zellwand hinausgepreßt. Diese oberen Enden der Zellen des Myzeliums erscheinen dann wie mit kleinen Taupföpfchen besetzt, und bei dem Hausschwamme vereinigen sich die Tröpfchen sogar zu Tropfen von recht ansehnlicher Größe. Grenzt eine solche Zelle, welche auf der einen Seite Flüssigkeit aufnimmt, mit ihrer anderen, die Flüssigkeit durchlassenden Seite an eine zweite Zelle, so kann von dieser die ausgepreßte Flüssigkeit aufgenommen werden, und für den Fall, daß diese zweite Zelle die Gestalt einer Röhre besitzt, kann der eingepreßte Saft immer höher und höher steigen, ja sogar von der nachdrängenden Flüssigkeit durch filtrationsfähige Häute anderer Zellen durchgepreßt werden. Ein so entstehender aufwärts gerichteter Saftstrom wird sich vorzüglich dorthin richten, wo der geringste Widerstand herrscht, und wenn daher das Zellengewebe, in dem sich der hier geschilderte Vorgang abspielt, mit Gefäßen durchsetzt ist, welche mit oberflächlichen Poren in Verbindung stehen, so kann die Flüssigkeit schließlich aus diesen Poren in Tropfenform hervortreten, was tatsächlich an den schon (S. 169—172) ausführlich besprochenen Pflanzen, deren Blätter mit sogenannten Wasserpalten versehen sind, vorkommt.

Wenn nun ein Stengel, in welchem das aus dem Nährboden herkommende Wasser aufwärts steigt, nicht zu weit über dem Boden durchschnitten wird, so sieht man an der Schnittfläche Saft in Form von Tropfen hervorquellen. In vielen Fällen ist die Menge dieses an den Schnittflächen hervorgepreßten Saftes erstaunlich groß. Auf Java werden gewisse lianenartige, die feuchten Wälder bewohnende *Cissus*-Arten geradezu als vegetabilische Quellen benutzt; aus den durchschnittenen Reben fließt nämlich so reichlich wässriger Saft hervor, daß man sich damit in kürzester Zeit einen Becher vollfüllen und ihn als erfrischenden, relativ kühlen Trunk benutzen kann. Auch mehrere *Araliaceen* liefern einen trinkbaren Saft. Einige in Indien einheimische, als vegetabilischer Born benutzte Arten haben darum auch den Namen „Pflanzenquelle“ (*Phytocrene*) erhalten (z. B. *P. gigantea* und *bracteata*). Wenn man den ganz jungen Blütenstamm der *Agave Americana*, jener mexikanischen Pflanze, welche

in den europäischen Gärten unter dem Namen der hundertjährigen Aloe kultiviert wird, quer durchschneidet, so fließen binnen 24 Stunden ungefähr 365 g und in einer Woche über 2500 g Saft hervor. Die Mexikaner sammeln diesen Saft und gewinnen daraus, indem sie ihn gären lassen, das berauschende Volksgetränk, die Pulque. Sehr reichlich ist auch die Menge des ausfließenden Saftes an den Weinstöcken. Eine 2 $\frac{1}{2}$ cm dicke Rebe, 1 $\frac{1}{2}$ m über dem Boden quer durchschnitten, lieferte innerhalb einer Woche über 5 kg Saft. Aus dem durchschnittenen Stamm einer Rose floss in einer Woche über 1 kg Saft hervor. Auch aus den Ahornen und Birken quillt verhältnismäßig viel Saft hervor, wenn man die Stämme 1 m über dem Boden abschneidet oder anbohrt. Nach neueren Beobachtungen scheint jedoch das Ausfließen von Saft aus verwundeten Baumstämmen, das auch noch bei der Dattelpalme, der Zuckerpalme und der Kokospalme zur Gewinnung des Saftes künstlich hervorgerufen wird, nicht mit dem Wurzeldruck zusammenzuhängen, sondern eine pathologische Reaktion der durch die Verwundung gereizten Gewebe zu sein.

Man hat den Druck, unter dessen Einflusse der Saft aus den Schnittflächen der Reben und anderer Pflanzenstengel hervorgepreßt wird, Wurzeldruck genannt. Um die Größe dieses Druckes zu ermitteln, wurde schon zu Anfang des 18. Jahrhunderts ein sinnreicher Versuch angestellt. Man schnitt im Frühling eine astlose Rebe von Fingersdicke 80 cm über der Erde ab und befestigte auf dem zurückgebliebenen Stumpf eine gebogene Glasröhre in der Weise, daß das eine Ende derselben genau auf den Querschnitt des Stumpfes paßte, worauf die Glasröhre mit Quecksilber gefüllt wurde. Durch den Saft, welcher aus der Schnittfläche hervorquoll, wurde nun das Quecksilber gehoben, und zwar innerhalb weniger Tage um 1120 mm. Bekanntlich ist aber das Gewicht einer Quecksilbersäule von 760 mm gleich dem Gewicht einer Luftsäule von der Höhe der Atmosphäre oder einer Wassersäule von ungefähr 10,3 m, und es ist daher der Druck, mit welchem der Saft aus der Rebe hervorgepreßt wird, beträchtlich größer als der einer Atmosphäre und einer Wassersäule von der angegebenen Höhe. Auf Grund dieser Zahlen wurde berechnet, daß der Saft durch den von den saugenden Zellen der Wurzel ausgehenden Druck 15,2 m emporgehoben werden kann. Begreiflicher Weise ist der Druck in den unteren Teilen eines Stammes am größten und nimmt nach oben zu allmählich ab, auch ist der durch ihn erzeugte aufsteigende Saftstrom nicht gleichmäßig, sondern zeigt tägliche, ja selbst stündliche Schwankungen. Weiterhin wurde beobachtet, daß die Menge des ausgeflossenen Saftes, abgesehen von den erwähnten Schwankungen, bald nach dem Durchschneiden des Stammes im Frühling am größten ist, dann allmählich geringer wird, bis schließlich im Sommer das Ausfließen ganz aufhört. Die Größe des Druckes und die Menge des durch die Saugkraft der Zellen emporgepreßten Saftes wechseln auch nach der Individualität der Pflanzen. Bei den rebenartigen Gewächsen scheint der Druck am größten zu sein. In dem Stengel des Fingerhutes gleicht er dem Druck einer Quecksilbersäule von 461, in dem Stengel der Nessel von 354, im Stengel des Mohnes von 212, im Stengel einer Bohne von 159 und im Stamme des weißen Maulbeerbaumes von 12 mm Höhe.

Dem anfangs Gesagten zufolge stellt man sich also die Wirkung des Wurzeldruckes so vor, daß die Saugzellen an den Wurzelenden und die Zellen des Wurzelkörpers als Saug- und Druckpumpen wirksam sind, und daß der Saft, welcher aus dem Stammstumpfe der Weinreben, Sonnenrosen, Balsaminen usw. zum Vorschein kommt, durch einen Druck von untenher emporgehoben wird. Da das Volumen des am Querschnitte des Stammstumpfes

ausfließenden Saftes das Volumen des ganzen Wurzellkörpers, einschließlich des Stammstumpfes, bedeutend übertrifft, und da das Ausfließen längere Zeit anhält, kann dasselbe nicht nur eine einfache Entleerung der mit Saft erfüllten Gefäße und Zellen des Stammstumpfes und der Wurzeln sein; es müssen die Wurzelhaare und Zellen des Wurzelgewebes auch nach dem Durchschneiden des Stammes noch mit großer Energie Wasser der umgebenden Erde entziehen und durch die Leitungsbahnen emporpressen.

Nachdem durch solche Versuche erwiesen ist, daß in mehreren Fällen der Saft bis zur Höhe von ungefähr 15 m emporgepreßt wird, könnte daran gedacht werden, daß in Gewächsen, welche diese Höhe erreichen, der Wurzeldruck genügt, um die grünen Gewebe der Zweige und Blätter mit dem rohen Nahrungssaft zu versorgen. Für hohe Bäume würde der Wurzeldruck freilich nicht ausreichen. Aber auch für niedere Bäumchen, Sträucher und Stauden wäre diese Kraft unzulänglich; denn wenn man den belaubten Stamm einer Pflanze nahe über der Wurzel abschneidet und in Wasser stellt und dann nachsieht, wieviel derselbe an Wasser aufgenommen und durch die Leitungsbahnen zu den verdunstenden Blättern geführt hat, und wenn man damit die Menge des Saftes vergleicht, welche durch den in der Erde zurückgebliebenen Stumpf emporgepreßt wird, so ergibt sich, daß im gleichen Zeitraume viel mehr Wasser durch Verdunstung verbraucht wird, als durch den Wurzeldruck allein hätte geliefert werden können. Auch darf nicht unberücksichtigt bleiben, daß im Sommer, also zur Zeit, wenn der größte Wasserbedarf in den grün belaubten Zweigen ist, an dem abgeschnittenen Stumpf häufig kein Emporpressen von Saft durch Wurzeldruck beobachtet wird, so daß zu dieser Zeit andere Kräfte in Wirksamkeit treten müßten.

Der Wurzeldruck allein ist also nicht imstande, das Saftsteigen zu erklären, aber immerhin eine sehr merkwürdige, wissenschaftlich interessante Erscheinung. Dagegen haben wir oben das Auspressen von Wassertropfen bei kleineren Pflanzen bei gehinderter Verdunstung durch den Wurzeldruck wohl erklären können (S. 169).

Der Luftdruck, die Haarröhrchenwirkung (Kapillarität) und die Quellung oder Imbibition der Zellwände.

Da in den Zellen der Leitungsbahnen neben dem Saft regelmäßig auch verdünnte Luft vorhanden ist, hat man das Saftsteigen auch mit dem Luftdruck in Verbindung zu bringen gesucht. So wie in einer offenen Röhre, welche bis zur Hälfte in Wasser steht, die Wassersäule in dem Maße steigt, als die Luft im oberen Teile der Röhre verdünnt wird, könnte auch infolge der Verdünnung der Luft in den oberen Teilen der Leitungsbahnen ein Saftsteigen veranlaßt werden. Aber der Luftdruck könnte das Wasser nur 10 m hoch heben.

Auch die Haarröhrchenwirkung oder Kapillarität wurde wiederholt zur Erklärung des Saftsteigens herangezogen. Man stützte sich dabei auf folgende Beobachtungen. Wenn der Stamm eines Baumes über den Wurzeln durchschnitten und dadurch der Einfluß des Wurzeldruckes beseitigt wird, und wenn man dann das untere Stammende in eine Flüssigkeit stellt, so steigt diese bis zu verschiedenen Höhen empor. Werden Weidenzweige nahe ihrem oberen Ende durchschnitten und umgekehrt in Wasser gesenkt, so erfolgt das Saftsteigen in umgekehrter Richtung, d. h. entgegengesetzt jener Richtung, welche der Saft unter natürlichen Verhältnissen einhalten würde. Das Saftsteigen erfolgt selbst dann, wenn die zu den

Bersuchen benutzte Flüssigkeit Stoffe enthält, die erfahrungsgemäß die lebenden Zellen töten, oder wenn die zu den Bersuchen verwendeten Zweige durch siedendes Wasser vorher gebrüht wurden. Die Wirkung lebender saugender Zellen ist unter diesen Umständen ausgeschlossen, vielmehr ist durch diesen Bersuch bewiesen, daß auch getötete Zellen in ähnlicher Weise wie lebende Zellen saugend auf Flüssigkeiten wirken können.

Man hat diese Erscheinungen aus der Adhäsion des Saftes an die Wände der Leitungsbahnen erklären und auf bloße Haarröhrchenwirkung zurückführen wollen. Aber von einer Haarröhrchenwirkung oder Kapillarität im herkömmlichen Sinne kann wohl nicht die Rede sein, da die Kapillarität gar nicht ausreicht, um die von den Pflanzen geforderten Steighöhen zu überwinden. Endlich wurde man auch auf die Fähigkeit der Zellwände hingelenkt, Wasser zwischen ihre Moleküle aufzunehmen, zu imbibieren oder zu quellen. Die Holzzellwände enthalten in friischem Zustande große Mengen imbibierten Wassers. Auf das Saftsteigen hat die Imbibition ohne Zweifel einen gewissen Einfluß. Mit der Durchtränkung der Zellwände im Gewebe der Blätter ist nämlich eine Saugwirkung verbunden, die den Saft in den Leitungsbahnen zu bedeutenden Höhen emporzuheben vermag. Aber es erscheint sehr schwierig, wenn auch alle Zellwände mit Wasser durchtränkt sind, die Fortbewegung des Wassers innerhalb der Zellwände zur Deckung des Transpirationsverlustes zu erklären. So hat denn auch die Imbibitionstheorie heute keine überzeugten Anhänger.

Die Transpiration.

Nächst den bisher besprochenen Kräften wird als Triebkraft für die Bewegung des Wassers in den Pflanzen auch die Transpiration selbst angesehen. Man versteht unter Transpiration die Abgabe von dunstförmigem Wasser von der lebenden Pflanze an die umgebende Luft. Durch die Transpiration muß der Zellinhalt der wasserabgebenden Zellen konzentrierter werden, und die konzentrierte Lösung hat die Fähigkeit, flüssiges Wasser aus der Umgebung, d. h. den Nachbarzellen, anzuziehen. Schließen zwei Zellen aneinander, deren Säfte denselben Konzentrationsgrad besitzen, und kommt nur eine in die Lage, Wasser zu verdunsten, so wird dadurch der bisherige Gleichgewichtszustand zwischen beiden gestört. Es herrscht aber stets das Bestreben, das Gleichgewicht wiederherzustellen, und daher nimmt die Zelle, deren Säfte durch Verdampfung des Wassers konzentrierter geworden sind, wässerige Flüssigkeit aus der Nachbarzelle auf. Denkt man sich nun eine Kette saftreicher Zellen, welche durch filtrationsfähige Wände miteinander verbunden sind, in der Weise verbunden, daß nur das oberste Endglied der Kette an die atmosphärische Luft angrenzt, so wird der durch Verdunstung konzentrierter gewordene Saft dieser obersten Zelle zunächst auf die unmittelbar angrenzende tiefere Zelle eine Saugwirkung ausüben. Indem aber dieser zweiten Zelle Flüssigkeit entzogen wird, erfährt auch ihr Inhalt eine Konzentration, und sie übt infolgedessen auf die dritte, diese in ähnlicher Weise auf die vierte, fünfte, sechste Zelle und endlich auf die wasserzuführenden Gefäßbündel nach abwärts bis zur wasser aufnehmenden Wurzel eine saugende Wirkung aus. Man stellt sich vor, daß auf diese Weise zahllose Ausgleichsströmungen zwischen den benachbarten Zellen entstehen, welche so lange, als die mit der atmosphärischen Luft in Berührung stehenden obersten Zellen Wasser verdunsten, niemals zu einem wirklichen vollständigen Ausgleiche führen, sich vielmehr zu einem einzigen

aufwärts gerichteten Ströme vereinigen, den man Transpirationsstrom genannt hat. Die Quelle des Transpirationsstromes ist das von den Wurzeln aufgenommene Bodenwasser, seine Bahn bilden die Gefäßbündel oder das Holz, und sein Ziel und seine Richtung wird durch die Lage der verdunstenden Zellgewebe, namentlich der Laubblätter, bestimmt.

Aber auch gegen diese Erklärung, die man durch Versuche mit in Glasröhren und verdunstenden porösen Substanzen oder in Membranen eingeschlossene Lösungen zu stützen suchte, wurden mannigfache Bedenken geltend gemacht. In den Leitungsbahnen werden, wie schon früher erwähnt, neben dem Saft regelmäßig auch Luftblasen beobachtet. Wenn aber in röhrenförmigen Gefäßen die Flüssigkeitssäulen durch Gasblasen vollständig unterbrochen sind, so wird dadurch ein Zug von obenher auf die unter den Gasblasen befindlichen Teile des Saftes nahezu aufgehoben. Vielleicht ist diese Unterbrechung aber nur eine scheinbare. Die Verhältnisse in den Leitungsbahnen der Pflanzen sind denn doch wesentlich verschieden von jenen in Glasröhren, die man bei experimentellen Studien benutzte. Einerseits ist die Adhäsion des Saftes an den Wänden der Zellen und Gefäße eine andere als an den Wänden einer Glasröhre, und dann bietet auch der Bau der Gefäße, zumal derjenigen, welche nicht zylindrisch, sondern prismatisch sind, und in deren Hohlräume schraubenförmige Verdickungen leistenförmig vorspringen, die Möglichkeit, daß sich zwischen den Luftblasen und der Innenwand der Leitungsröhren eine dünne Saftsicht befindet, welche die Flüssigkeitssäulen oberhalb und unterhalb der Luftblase verbindet, so daß in Wirklichkeit eine vollständige Unterbrechung der Flüssigkeit nicht stattfindet. Wenn aber infolge der großen Adhäsion des Saftes an sämtlichen die Leitungsbahnen begrenzenden Wänden und infolge des eigentümlichen Baues der Leitungsbahnen die Kohäsion der wässerigen Flüssigkeit erhalten bleibt und sich der Saft zwischen den Luftblasen und der Wand bewegen kann, so könnte auch die von den verdunstenden Zellen ausgehende Kraft eine hebende Wirkung ausüben und das Saftsteigen von den Wurzeln bis zu den Blättern bewirken.

Wichtig ist aber ein gegen diese Erklärung erhobener Einwurf. Wenn nach Ablauf des Winters der Nahrungsaft in reichlicher Menge in die Wipfel der Ahorne, Buchen, Birken und anderer Laubhölzer emporsteigt, so sind deren Zweige nicht belaubt, und es kann daher von einer Verdunstung aus grünen Blättern überhaupt noch keine Rede sein. Manche Forscher haben daher angenommen, daß mit den Leitungsbahnen Zellen in Verbindung stehen, deren Inhalt ähnlich jenem der Saugzellen der Wurzeln als Saug- und Druckpumpen wirksam ist, daß also die lebenden Zellbestandteile des Holzes die eigentlichen Motoren bei der Wasserbewegung seien. Solche Zellen könnten den Nahrungsaft, der durch den Wurzeldruck in die untersten Stockwerke einer Pflanze gelangt, in immer höhere Stockwerke bis zu den Gipfeltrieben der Lianen und den obersten Zweigen in den Kronen hoher Bäume emporheben. Es würde also an Stelle der unausgesetzten Saugwirkung eine osmotische Druckkraft treten. Allgemein versorgen sich im Herbst, zur Zeit der Einwinterung, sowie in den tropischen Gegenden bei Beginn der trockenen Periode die Markstrahlen in den Stämmen der Bäume und Lianen mit Stoffen, welche in der nächsten Vegetationszeit osmotische Wirkung ausüben. Dadurch würde es erklärlich, daß im Frühling in den noch unbelaubten Bäumen und Reben ein starker Saftauftrieb stattfindet, und daß das Wasser sogar zu Gipfeltrieben von 100 m langen Lianen, welche am Schlusse der vorhergegangenen Vegetationszeit ihr Laub abgeworfen haben, hinaufgeleitet wird. Auch wäre verständlich, wie es kommt, daß der Saft, der den Bohrlöchern am Stamme noch nicht vollständig belaubter

Ahorn-, Buchen- und Birkenbäume entströmt, nicht nur aus Wasser und den in diesem gelösten mineralischen Stoffen besteht, sondern Zucker und andere organische Verbindungen enthält, welche zur Zeit des Laubfalles, wenn auch in anderer Form, in die Markstrahlen entlang der Strombahn gelangten, dort aufgespeichert wurden und nun wieder in den aufsteigenden Saft übergehen. Bei dieser Ansicht würde dann der durch osmotisch wirksame Zellen in die Höhe getriebene Saft in die Gefäßbündel nur hineingetrieben und diese stellten dann gewissermaßen nur ein passiv wirksames Röhrensystem vor.

Aus allen diesen Erörterungen über das Saftsteigen geht hervor, daß in den obersten Teilen der Leitungsbahnen, welche zunächst an die verdunstenden Zellen angrenzen, der Zutrom des Nahrungssaftes unter allen Umständen durch die Transpiration in den grünen Geweben der belaubten Zweige veranlaßt wird. Ob aber der Einfluß der Transpiration bis zu den Anfängen der Leitungsbahnen in den Wurzeln zurückreicht, ist zweifelhaft. Ebenso ist es zweifelhaft, ob das Saftsteigen in den tieferen Regionen der Leitungsbahnen durch den Wurzeldruck, Luftdruck oder auch durch Haarröhrchenwirkung und Durchtränkung unterstützt wird, ob irgendwelche Kombinationen dieser Kräfte mit dem Transpirationsstrom stattfinden, und ob vielleicht in den verschiedenen Vegetationsperioden ein Wechsel der Triebkräfte eintritt.

Wir haben absichtlich hier einmal die theoretischen Ansichten erörtert, die man an einen wichtigen Lebensvorgang angeknüpft hat, um zu erläutern, wie schwierig die Erklärung der Lebensvorgänge auch dann noch bleibt, wenn man mit der Anwendung physikalischer Gesetze und mit dem Mikroskop an sie herantreten kann.

Nach der Ansicht hervorragender Pflanzenphysiologen ist das Saftsteigen, wenigstens jenes in den Stämmen hoher Bäume, durch die bekannten physikalischen Kräfte allein kaum zu erklären. Wir wissen heute nicht, wie die Pflanze es anfängt, die Schwerkraft in solcher, den Naturgesetzen scheinbar widersprechenden Weise zu überwinden. Das kann uns aber nicht veranlassen, an den aus Beobachtungen der Natur von uns abgeleiteten Regeln, die wir etwas trocken Naturgesetze nennen, irre zu werden und Hilfe in der Annahme unbekannter Lebenskräfte zu suchen. Wenn unsere Erklärungen bei den lebendigen Wesen so viel häufiger versagen, wie in der Physik, so wollen wir nicht vergessen, daß unser noch keine hundert Jahre altes methodisches Studium der Lebenserscheinungen gar nicht erwarten läßt, daß wir schon weiter wären in der Aufdeckung solcher feiner und im Verborgenen verlaufender physikalisch-chemischer Vorgänge. Wer in ganz unbegründeter Mutlosigkeit fürchtet, dieser Weg führe nicht weiter und sich daher lieber okkulten Kräften, wie einer „Lebenskraft“, zuwendet, gleicht dem Bergsteiger, der, bei dem Anblick der gewaltigen Tiefen von Schwindel ergriffen, seinen festen Stab von sich wirft und die leeren Hände zum Berggeist erhebt, flehend, er möge ihn retten. Der aber läßt ihn mitleidlos in die Tiefe fallen.

Viele Lebensrätsel beruhen darauf, daß die physikalisch-chemischen Energieformen in den aus Zellen aufgebauten Pflanzenkörpern andere Resultate erzeugen als in der einfacheren unbelebten Natur. Hier lassen sich die Vorgänge meist leicht trennen und erkennen, im lebendigen Körper aber greifen sie meist innig ineinander, und die Erscheinungen sind zusammengesetzt und beeinflusst, ohne daß uns die Analyse immer möglich wird. So sehen wir, daß aus noch nicht erkennbaren Gründen derselbe Vorgang des Saftsteigens bei den verschiedensten Pflanzen zeitlich verschieden sein kann. In einem Gewächshause des Wiener botanischen Gartens stehen nebeneinander in derselben Erde und unter ganz gleichen Verhältnissen der Feuchtigkeit, des Lichtes und der Wärme *Strychnos Nux vomica*, *Kigelia*

africana, *Antiaris toxicaria*, *Jatropha multifida*, *Adansonia digitata*, *Brownia grandiceps* usw. Die ersten drei werfen ihre Blätter alljährlich im Januar ab. Bei *Strychnos* beginnt das Saftsteigen und die Entwicklung der Blattknospen schon im Februar, bei *Kigelia* und *Antiaris* erst im März. *Jatropha multifida* und *Adansonia digitata* werfen ihre Blätter schon im November ab; bei *Jatropha* beginnt das Saftsteigen schon im März, bei *Brownia* im April und bei *Adansonia* erst im Mai. Zur Erklärung dieser Individualität würde uns die „Lebenskraft“ nicht im geringsten helfen.

Man hat auch die Geschwindigkeit des Transpirationsstromes gemessen, aber wir würden uns bei näherem Eingehen auf diese Versuche zu sehr auf das Gebiet der rein experimentellen Physiologie begeben. Es möge jedoch hervorgehoben werden, daß die Geschwindigkeit des Wasserstromes bei den Pflanzenarten außerordentlich verschieden ist. Wo viel Wasser oberflächlich verdunstet, wird auch viel Wasser nachzuliefern sein, und in Bahnen, welche zu stark transpirierenden, umfangreichen Blattflächen hinführen, wird sich die Flüssigkeit rascher bewegen als in Leitungsvorrichtungen, welche in einem grünen Gewebe münden, das nur wenig und langsam transpiriert. In der Kiefer mit den starren, wenig verdunstenden Nadeln bewegt sich der aufsteigende Nahrungsjaft in seinen Bahnen tatsächlich um vieles schwerfälliger als im Ahorn, dessen flache Blätter große Mengen von Wasser in Dampfform abgeben. Die rascheste Leitung aber beobachtet man an Kletter- und Schlingpflanzen, deren Stengel bei der mäßigen Dide von einigen Zentimetern eine Länge von über 100 m erreichen können, an jenen seltsamen, unter dem Namen Rotang bekannten Kletterpalmen, deren Stämme sich in schlängelförmigen Krümmungen zu den Wipfeln der höchsten Bäume hinaufziehen und dort oben im Sonnenschein ihre Blätter entfalten. Man kennt Kletterpalmen, deren Stengel eine Länge von 180 m zeigen, und die, wenn sie in vielfach gewundenem Laufe die Höhe der Baumkronen erreicht haben, sich dort gerade aufrichten und die großen Fiederblätter ganz so wie geradschäftige Palmen ausbreiten. Die Abbildung auf S. 196 zeigt im Hintergrunde den Rand eines Waldes, an dessen Bäumen sich einzelne Exemplare einer solchen Rotangart emporgezogen haben. Viele Stunden des Tages mögen vergehen, wo wegen bewölkten Himmels und wegen großer Feuchtigkeit der Luft die Transpiration aus den hoch oben in den Kronen anderer Bäume sich breit machenden Blättern eine äußerst geringe ist; bei kräftig wirkendem Sonnenschein und starker Erwärmung der Blätter aber wird dann eine gewaltige Menge von Wasserdampf in kurzer Zeit an die Luft abgegeben werden müssen. Diese Wassermenge soll ersetzt werden, und zwar rasch, noch dazu durch Vermittelung eines über 100 m langen und nur einige Zentimeter dicken Stammes. Damit das möglich wird, muß alles, was die rasche Fortbewegung des Wassers und der in demselben gelösten Nährstoffe auf dem langen Wege hindern könnte, besonders die Widerstände in den leitenden Röhren, möglichst beseitigt werden. Die Fortbewegung von Flüssigkeiten wird aber in einem Kanale desto mehr erschwert und verlangsamt, je enger dieser ist, weil dann von der durchgeleiteten Flüssigkeit verhältnismäßig viel an der inneren Fläche des Kanals adhärirt, und es ist daher zur Erzielung einer raschen Fortbewegung nötig, diese Adhäsion auf das notwendigste Maß zu beschränken. Das geschieht aber am einfachsten durch Erweiterung des Kanals, weil dadurch die adhäririerende Fläche im Verhältnis zur größeren Masse der durchgeleiteten Flüssigkeit verkleinert wird. In der Tat findet man in den Stämmen der Kletterpalmen relativ sehr weite Röhren, durch die eine große Menge von Flüssigkeit in kurzer Zeit von den Wurzeln zu den transpirierenden Blattflächen befördert werden könnte, die ja in Wirklichkeit auch befördert wird. Die Kletterpalme

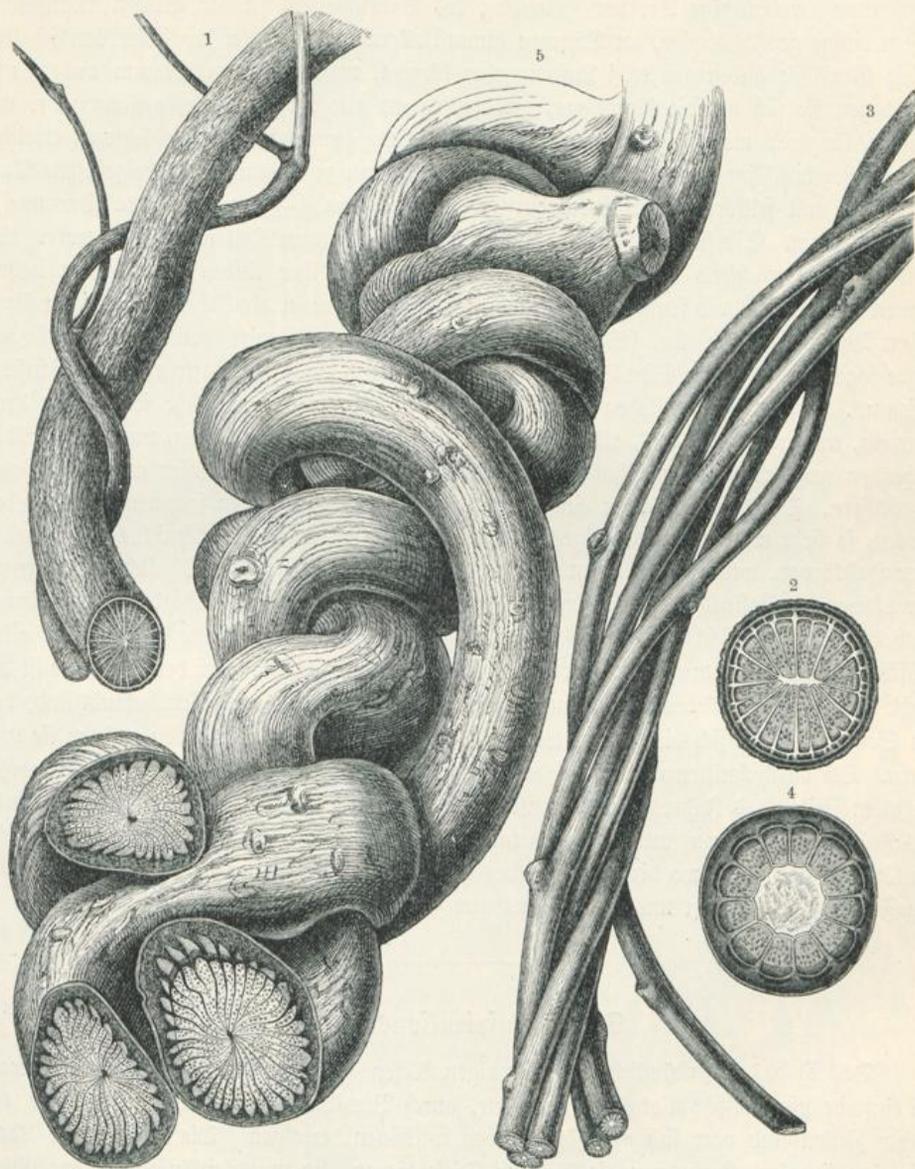
Calamus angustifolius zeigt Leitungsröhren von mehr als $\frac{1}{2}$ mm und die in der untenstehenden Abbildung dargestellte Rotangart von nahezu $\frac{1}{2}$ mm Durchmesser.



Indische Kletterpalmen (Rotang). Nach einer Photographie. (Zu S. 105.)

Was hier von den Rotang- oder Kletterpalmen gesagt ist, gilt auch von allen anderen unter dem Namen Lianen bekannten Schling- und Kletterpflanzen, und zwar sind ihre

Gefäßröhren um so weiter, je größer der Umfang der verdunstenden Blattflächen ist, und je länger die Stämme sind, in denen die Leitungsbahnen verlaufen. Bei sehr vielen Lianen



Lianen: 1 Ausschnitt aus dem Stengel einer tropischen Aristolochia; 2 Querschnitt durch eine lianenartige Aristolochia; 3 *Menispermum Carolinianum*; 4 Querschnitt durch den windenden Stengel dieses *Menispermum* (vergrößert); 5 Ausschnitt aus einer im tropischen Walde gesammelten *Asclepiadacee* in natürlicher Größe.

kann man die Mündungen der Gefäße mit freiem Auge deutlich erkennen, wie das z. B. an der in natürlicher Größe oben abgebildeten Liane (Fig. 5) und den Querschnitten (Fig. 2 und 4) der Fall ist. Eine Weite von $\frac{1}{3}$ mm ist bei den Passifloren und Aristolochiaceen und

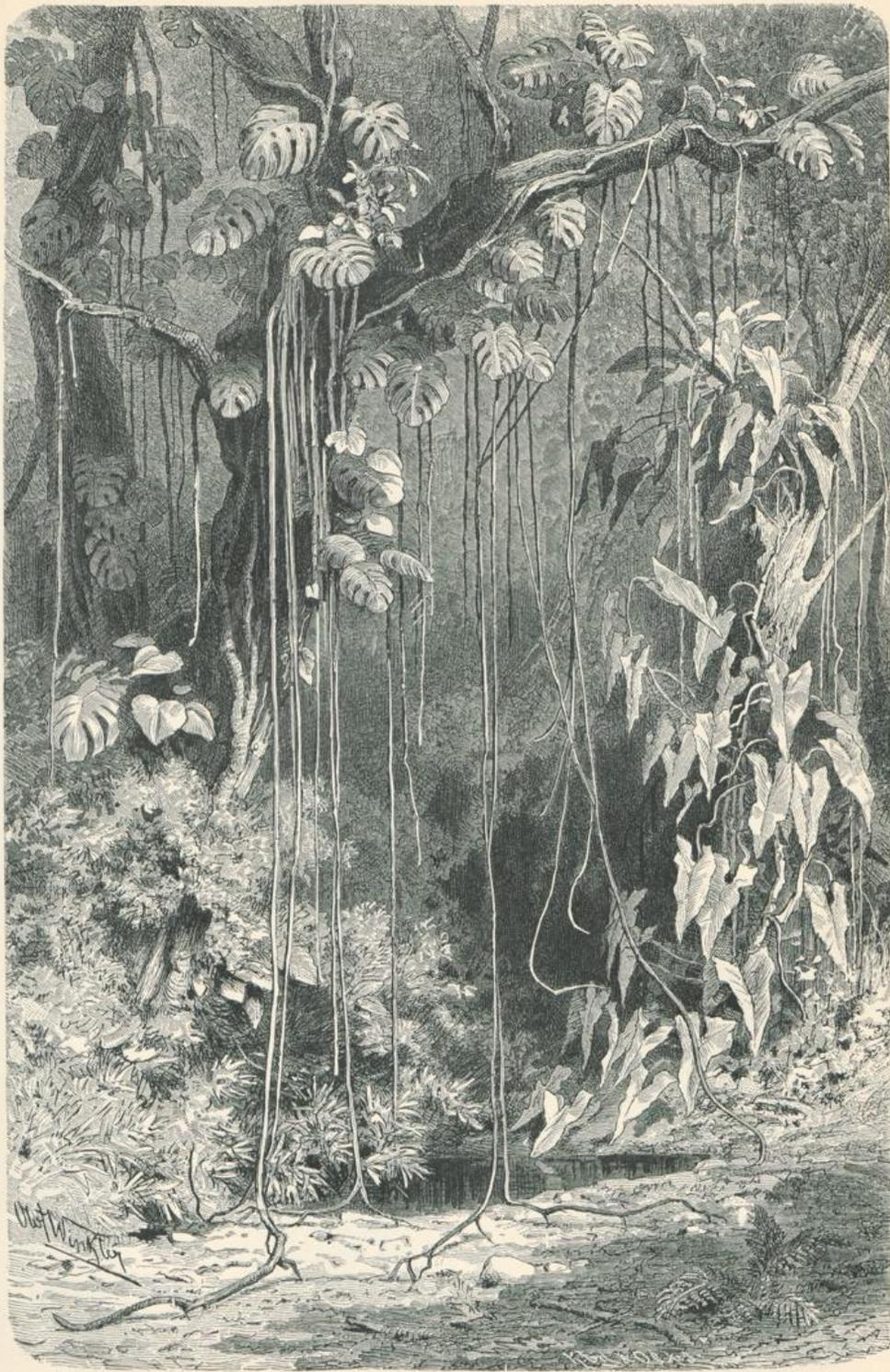
überhaupt bei den meisten Schling- und Kletterpflanzen keine Seltenheit, und an manchen Lianen hat man sogar einen Durchmesser von 0,7 mm beobachtet.

Eine merkwürdige Art der Zuleitung des Bodenwassers zu den grünen Blattflächen zeigen einige großblättrige, an Bäumen hinaufkletternde Aroideen tropischer Landschaften. Diese Gewächse haben zweierlei Luftwurzeln: kürzere, wagerecht vom Stamm ausgehende, mit denen sie sich an die Unterlage, gewöhnlich an alte Baumstrünke, anklammern, und sodann längere, welche wie Stricke lotrecht zur Erde herabgehen. Diese letzteren erreichen an der mexikanischen *Torneia fragrans* (*Philodendron pertusum*; s. die beigeheftete Tafel „Aroideen mit seilförmigen Luftwurzeln“) die Länge von 4—6 m und den Durchmesser von 1—2 cm. Sie sind gleichmäßig dick, braun, glatt, unverästelt und ganz gerade. Sobald sie herabwachsend den Boden erreichen, biegen sich ihre Enden unter einem nahezu rechten Winkel um und senden eine Menge Seitenwürzelchen in die Erde, die in einen förmlichen Pelz von Saugzellen (Wurzelhaaren) gehüllt sind. Es wird dann das umgebogene Ende sogar etwas in die Erde hineingezogen und dadurch die ganze Luftwurzel ziemlich straff gespannt. Regelmäßig entstehen unter jedem neuen Blatte je zwei solche seilähnliche Luftwurzeln, und es sieht so aus, als ob diese Gebilde dazu vorhanden wären, um dem darüberstehenden großen, üppigen Blatt auf kürzestem Wege das nötige Wasser aus dem Boden zuzuführen. Durchschneidet man eine dieser seilförmigen Luftwurzeln spannenhoch über dem Boden, so sieht man sofort wässrige Flüssigkeit aus der Mitte des Querschnittes hervorquellen. Der Holzkörper, welcher hier einen mittleren Strang bildet, enthält, ähnlich dem Stengel der Lianen, auffallend weite Leitungsröhren, und die Menge der Flüssigkeit beträgt innerhalb 36 Stunden nicht weniger als 17 g. Auffallend ist, daß hier der Wurzeldruck allem Anscheine nach das ganze Jahr über mit gleicher Kraft wirksam ist. Bei der Weinrebe ist das nicht der Fall. Die Reben tränen nur im Frühlinge, solange sie noch nicht belaubt sind, doch im Sommer, wenn sich die grünen Laubblätter vollständig entwickelt haben, tränen sie nicht mehr. Die durchschnittenen seilförmigen Luftwurzeln der tropischen Aroideen tränen dagegen zu allen Zeiten des Jahres. Freilich ist bei den letzteren die Vegetationstätigkeit im Laufe des Jahres niemals ganz unterbrochen, und es ist auch daran zu erinnern, daß diese Gewächse an Orten vorkommen, wo die Luft und der Boden jahraus jahrein warm sind, und wo auch die Feuchtigkeit der Luft und des Bodens nur geringen Schwankungen unterliegt.

Die Transpirationsorgane.

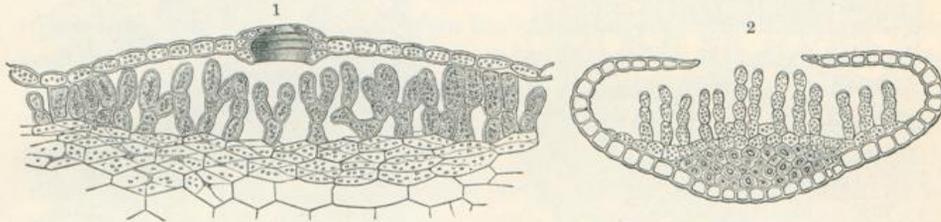
Das ist das Eigentümliche der lebendigen Wesen, daß ihre Berrichtungen, auch wenn sie einfache physikalische Vorgänge bedeuten, durch Vermittelung von Organen, die entweder Zellen sind oder sich aus Zellgeweben aufbauen, erfolgen. Die Organe der Transpiration sind im allgemeinen die Blätter. Diese dienen also zweierlei Aufgaben, der Photosynthese und der Wasserverdunstung. Auch in der doppelten Leistungsfähigkeit, die wir bei vielen Pflanzenorganen antreffen, zeigt sich die besondere Fähigkeit der Organismen gegenüber unseren Instrumenten und mechanischen Apparaten, die nur in einer Richtung arbeiten können. Die Organe der Transpiration zeigen bei verschiedenen Pflanzengruppen eine verschiedene Vollkommenheit.

Die Zellen, welche dunstförmiges Wasser an die Atmosphäre abzugeben haben, bieten



Aroideen mit seilförmigen Luftwurzeln.

ihrer Aufgabe entsprechend der Luft eine möglichst große Oberfläche dar. Bei einigen Laubmoosen liegen sie frei zutage. Bei den Widertonen (*Polytrichum*) und mehreren Bartmoosen (*Barbula aloides*, *ambigua*, *rigida*) bilden sie kurze, perlschnurförmige Ketten oder vorspringende Leisten auf der rinnenförmig vertieften Oberseite der kleinen Blätter (s. untenstehende Abbildung, Fig. 2). Bei der zu den Lebermoosen gehörigen Gattung *Marchantia* sind eigene, in die Masse ihres laubartigen, grünen Lagers eingesenkte Verdunstungskammern ausgebildet (s. untenstehende Abbildung, Fig. 1). Im Grunde dieser Kammern sieht man grüne Zellen, die so gruppiert sind, daß man an die Gestalt des Feigenkaktus (*Opuntia*) erinnert wird. Diese grünen Zellen sind ungemein dünnwandig, und sie sind es auch, aus denen das Wasser verdunstet. Sie sind nicht so frei exponiert wie jene der oben genannten Laubmoose, sondern es breitet sich über sie das Dach der Verdunstungskammer aus. Dieses wird aus durchsichtigen Zellen gebildet und ist über jeder dieser Kammern von einem schornsteinförmigen Durchlaß unterbrochen, aus welchem der von den grünen Zellen abgegebene Wasserdampf entweicht. Diese Verdunstungskammern bilden den Übergang zu den Tran-



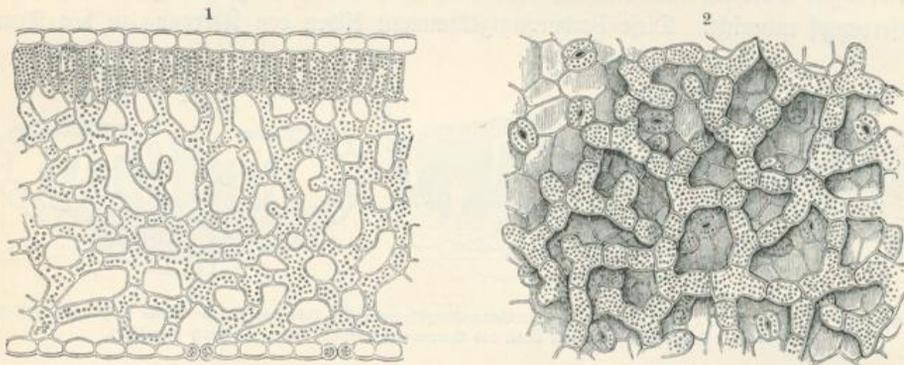
Transpirierende Zellen: 1 Querschnitt durch eine Verdunstungskammer des Lebermooses *Marchantia polymorpha*, 300fach vergrößert; 2 Querschnitt durch das Blatt des Bartmooses *Barbula aloides*, 380fach vergrößert.

spirationsorganen der Gefäßkryptogamen und ungezählter Samenpflanzen. Bei diesen finden sich die verdunstenden Zellen im Inneren der grünen Rinde der Stämme, Zweige und Blattäste und insbesondere der Laubblätter und bilden einen Teil jenes grünen Gewebes, das man Chlorenchym, in den Laubblättern auch Mesophyll genannt hat.

An den meisten flächenförmig ausgebreiteten Laubblättern, deren Bau schon auf S. 105 und 106 beschrieben wurde, ist die obere und untere Seite verschieden gebaut, und zwar beschränkt sich diese Verschiedenheit nicht auf die Haut, sondern ist auch in dem grünen Gewebe deutlich zu erkennen. Die unter der Haut der oberen Blattseite liegenden grünen Zellen haben die Gestalt von Prismen, Zylindern oder kurzen Schläuchen und sind in Reih' und Glied sehr regelmäßig geordnet. Bei den meisten Pflanzen sind diese zylindrischen Zellen mit ihrer Schmalseite gegen die Oberfläche gerichtet, stehen wie Palisaden nebeneinander, und es sind zwischen sie sehr enge Luftgänge eingeschaltet. Unter diesen Palisadenzellen und anschließend an die Haut der unteren Blattseite findet sich eine andere Zellschicht, die ein viel lockereres Gefüge hat (s. Abbildung, S. 200, Fig. 1). Die Zellen dieser unteren Schicht sind nicht so reich an Chlorophyllkörnern und daher ist die Unterseite der Blätter gewöhnlich heller grün als die Oberseite. Die Zellen der Unterseite sind in ihrer Form elliptisch, rundlich, eckig, ausgebuchtet, überhaupt sehr abwechslungsreich; am häufigsten zeigen sie nach verschiedenen Richtungen abstehende Ausstülpungen und sind derart verbunden, daß die Ausstülpungen der benachbarten Zellen aufeinander treffen. Es macht dann den Eindruck, als ob sich die Nachbarn gegenseitig die Arme entgegenstrecken und die Hände reichen, und man hat darum

diese Zellen auch Armparenchym genannt. Wenn mehrere vielarmige Zellen nebeneinander liegen und miteinander in der angegebenen Weise verbunden sind, so entstehen dadurch in diesem Gewebe Lücken und Gänge, welche von den vereinigten Armen der nachbarlichen Zellen umgeben werden; das ganze Gewebe erhält das lockere, lückige Aussehen eines Badeschwammes und wurde dementsprechend auch Schwammgewebe oder Schwammparenchym genannt (Fig. 2). Dieses Schwammgewebe hat den passenden Bau für die Verdunstung. Jede Zelle, deren Oberfläche durch die Ausstülpungen vergrößert ist, grenzt soweit als möglich an die lusterfüllten Gänge, die alle miteinander in Verbindung stehen und ein Durchlüftungssystem bilden.

Da das Schwammparenchym in den Laubblättern durch eine derbe, für Wasserdampf nur schwer durchgängige Haut von der Atmosphäre abgeschlossen ist, so würde der Wasserdampf, den die Zellen dieses Parenchyms abgeben, nur die Lücken und Gänge erfüllen, und jede weitere



1 Querschnitt durch das Blatt der *Francisca eximia*. Palisadenzellen, darunter Armparenchym; 2 Schwammparenchym: in dem Blatte der *Daphne laureola*. Die Haut und die Palisadenzellen der oberen Seite des Blattes sind entfernt. Durch die Lücken des Schwammgewebes sieht man die Haut mit den Spaltöffnungen der unteren Blattoberseite. 320fach vergrößert.

Ausdünstung wäre verhindert. Daher muß eine direkte Verbindung mit der äußeren Luft hergestellt werden, und die Haut des Blattes muß Öffnungen besitzen, welche den Wasserdampf austreten lassen. Solche Durchlässe sind die schon wiederholt erwähnten Spaltöffnungen. Sie nehmen nicht nur bei der Photosynthese Kohlenäure auf und lassen den überschüssigen Sauerstoff austreten, sondern geben auch bei der Transpiration den Wasserdampf ab.

Die Spaltöffnungen entstehen in der Weise, daß sich Zellen der Oberhaut teilen und endlich zwei symmetrische Zellen liefern. Indem die beiden Zellen etwas auseinander weichen, entsteht ein kurzer, die Oberhaut durchsetzender Kanal, der die Verbindung zwischen der äußeren Luft und den luft- und dampfgefüllten Räumen im Inneren des Blattes herstellt. Man nennt diesen Kanal den Porus der Spaltöffnung und bezeichnet die zwei Zellen, welche ihn begrenzen, als Schließzellen. Diese zwei Zellen regeln nun das Ausströmen des Wasserdampfes aus dem Inneren des Blattes. Der unmittelbar hinter dem Porus der Spaltöffnung liegende Hohlraum (vgl. Abbildung S. 209 u. 212) wird Athemhöhle genannt.

Die Zahl der die Haut des Blattes unterbrechenden Spaltöffnungen oder Transpirationsporen ist sehr verschieden. An den Blättern des Kohles (*Brassica oleracea*) kommen auf 1 qmm an der oberen Seite nahezu 400 von ihnen, an der unteren Seite über 700; an den Blättern des Ölbaumes auf den gleichen Flächenraum der unteren Seite ungefähr 600.

Auffallend wenig Spaltöffnungen zeigen die Fettpflanzen. An den Blättern der Hauswurz (*Sempervivum tectorum*) und des Mauerpfeffers (*Sedum acre*) treffen auf 1 qmm nur 10 bis 20. In der Mehrzahl der Fälle hat man auf diesem Flächenraume zwischen 200 und 300 Spaltöffnungen gefunden. Die untere Seite eines Eichenblattes im Ausmaße von 50 qcm zeigt etwas über 2 Millionen Spaltöffnungen. Sie sind in den meisten Fällen ziemlich gleichmäßig über die ganze Blattoberfläche verteilt; an den Blättern der Gräser und der Nadelhölzer sowie an den grünen Stengeln der Schachtelhalme bilden sie geradlinige, regelmäßige Längsreihen, an den Blättern einiger Steinbreche, namentlich der *Saxifraga sarmentosa* und *japonica*, sind sie auf einzelne kleine Felber des Blattes zusammengedrängt, ebenso auf den Blättern vieler Begonien (z. B. *Begonia sanguinea*). Selbstverständlich sind sie vorzüglich dort entwickelt, wo unter der Haut ein Schwammparenchym liegt, und da sich dieses in der Mehrzahl der Fälle an der unteren Seite der Blätter befindet, so ist auch die größte Menge der Spaltöffnungen an der Blattunterseite zu finden.

Bei sehr vielen flächenförmig ausgebreiteten Blättern, deren eine Seite dem Himmel, deren andere der Erde zugewendet ist, fehlen die Spaltöffnungen auf der Oberseite und sind auf die Unterseite beschränkt. Doch kommen häufig auch hier auf beiden Seiten Spaltöffnungen vor. Umgekehrt ist bei den scheibenförmigen flachen Blättern, die auf dem Wasser schwimmen, wie namentlich denen des Laichkrautes (*Potamogeton natans*), des Froschbisses (*Hydrocharis morsus ranae*) und der Seerosen (*Nymphaea*, *Nuphar*, *Victoria*), die obere Seite mit Spaltöffnungen übersät, während die untere, dem Wasser aufliegende Seite derselben vollständig entbehrt. An den aufrechten Blättern der Schwertlilien, des Asphodills, der Amaryllis und verschiedener anderer Zwiebelpflanzen, ebenso an den mit ihrer Fläche vertikal gestellten Blattästen der australischen Akazien, endlich auch an den nadelförmigen Blättern einiger Koniferen sind die Spaltöffnungen an beiden Seiten in nahezu gleichgroßer Zahl vorhanden. Auch bei den Mimosen und verschiedenen anderen Gewächsen, die mit den Mimosen die Eigentümlichkeit gemein haben, daß ihre Blättchen infolge eines äußeren Reizes die Lage ändern, werden zahlreiche Spaltöffnungen an beiden Blattseiten gefunden.

Die meisten Spaltöffnungen sind in geöffnetem Zustand elliptisch. Weit seltener begegnet man rundlichen und sehr in die Länge gestreckten, fast linealen Formen. Die Länge der Spaltöffnungen schwankt zwischen 0,02 und 0,08, die Breite zwischen 0,01 und 0,08 mm; die größten Spaltöffnungen zeigen Nadelhölzer, Orchideen, Lilien und Gräser, die kleinsten die Seerosen, die Öl-bäume und einige mit immergrünen Laubblättern ausgestattete Feigenbäume.

Die Förderungsmittel der Transpiration.

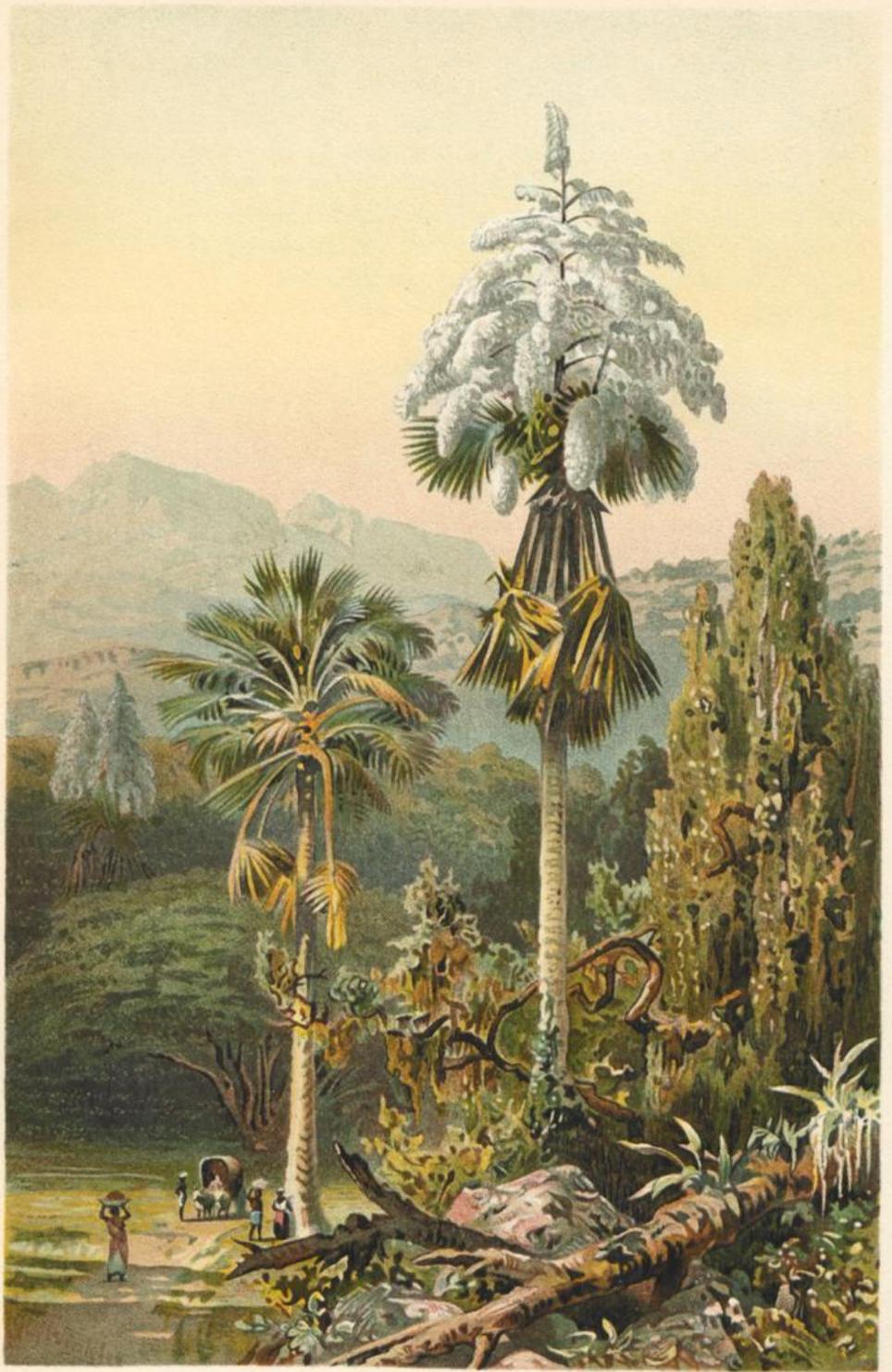
Da die Transpiration, wie S. 186 erläutert wurde, ein für das Pflanzenleben unentbehrlicher Vorgang ist, so ist es begreiflich, daß wir auch hier zunächst auf allerlei Mittel stoßen, welche die Transpiration fördern oder herabsetzen.

Die untergetauchten Wasserpflanzen transpirieren nicht. Sie bedürfen daher weder leitender Holzbündel noch Spaltöffnungen. Unter Wasser wachsen auch keine Bäume und Sträucher. Selbst die größten Florideen und die riesigsten Tange entbehren des Holzes, entbehren der Spaltöffnungen. Welche unendliche Reihe von Abstufungen aber von der feuchten Luft tropischer Küstenlandschaften bis zu den trockenen Wüsten im Inneren der großen

Kontinente, welche Verschiedenheit der Temperaturen in den verschiedenen Zonen und Regionen und in den wechselnden Jahreszeiten, welche Unterschiede selbst auf engem Raum in einem einzigen kleinen Tale zwischen den Feuchtigkeitsverhältnissen der Luft und des Bodens in der Tiefe einer schattigen Schlucht und an dem sonnigen, felsigen Bergabhang! An dem einen Ort ist die Luft mit Wasserdunst so gesättigt, daß eine Verdunstung aus Pflanzen gar nicht stattfinden kann; an einer anderen Stelle ist sie so trocken, und es wirkt dort die Sonne so kräftig, daß die Pflanzen das von ihrer Oberfläche verdunstende Wasser aus dem Boden kaum zu ersetzen vermögen. Im ersteren Falle werden Einrichtungen notwendig, welche die Transpiration möglichst fördern, im letzteren Falle dagegen ist es von Wichtigkeit, daß eine zu weit gehende, mit dem Vertrocknen und Absterben der Pflanze endigende Verdunstung verhindert werde.

Was zunächst die Förderungsmittel der Transpiration anlangt, so besteht eines derselben in der Ausbildung möglichst großer Blattflächen. Da erfahrungsgemäß die Verdunstung der grünen Blätter durch Licht und Wärme gefördert wird, so ist es für alle Gewächse, zu denen die Sonnenstrahlen nur in beschränktem Maße Zutritt haben, von Vorteil, wenn ihre Blattflächen recht groß sind und durch Gestalt und Lage befähigt werden, das spärlich einfallende Licht vollständig auszunutzen. Wenn 1000 grüne Zellen schwach durchleuchtet werden, so ist die Wirkung nahezu dieselbe, wie wenn 500 solcher Zellen von einem doppelt so starken Lichte getroffen werden. Mag diese Schlussfolgerung auch nicht auf alle Pflanzen passen, für einen Teil derselben hat sie gewiß ihre volle Gültigkeit, und Tatsache ist es, daß die an schattigen, feuchten Stellen wachsenden Pflanzen sich durch verhältnismäßig großes, zartes, dünnes Laubwerk auszeichnen. Auch sind an solchen Stellen die Laubblätter horizontal ausgebreitet, ebenflächig, nicht runzelig, weder zurückgerollt noch aufgebogen und werden am zweckmäßigsten Flachblätter genannt. Betreten wir einmal einen dichten Wald in der nördlich gemäßigten Zone, etwa im südlichen Deutschland. Neben Farnen mit zarten Wedeln erheben sich über den Waldgrund Lärchenporne (*Corydalis fabacea, solida, cava*), Zahnwurzen (*Dentaria bulbifera, digitata, enneaphyllos*), Mäuselblümchen (*Isopyrum thalictroides*), Mondviole (*Lunaria rediviva*), Haselwurz (*Asarum europaeum*) und noch so manche andere den verschiedensten Familien angehörende Arten, die aber sämtlich in dem einen Merkmale miteinander übereinstimmen, daß sie Flachblätter haben, und daß ihnen ein Überzug aus Haaren fehlt. Nieselt ein Bach durch den schattigen Wald, so erheben sich an dessen Ufern Springkraut (*Impatiens Nolitangere*), Bärenlauch (*Allium ursinum*) und Knotenfuß (*Streptopus amplexifolius*), alle wieder durch ihr glattes, ebenflächiges Blattwerk ausgezeichnet. An solchen Standorten findet man im südlichen Deutschland überhaupt die umfangreichsten Laubblätter. Die Blattflächen der Pestwurz erreichen an solchen Stellen die Länge von über 1 m und nahezu die gleiche Breite. Sie besitzen dieses Maß ihrer Blätter aber nur in der feuchten Luft des schattigen Waldes. Man sollte erwarten, daß unter sonst gleichbleibenden Verhältnissen außerhalb des Waldes infolge des Einflusses höherer Temperatur die Blätter ein üppigeres Wachstum zeigen und einen noch größeren Umfang gewinnen würden, was aber durchaus nicht der Fall ist. In der weniger feuchten Luft, im Sonnenschein an dem nicht beschatteten Bachufer, werden die Blätter der Pestwurz kaum halb so groß wie in der benachbarten schattigen, kalten Schlucht, aus deren Dämmerlicht der Bach in die offene Landschaft herausfließt.

Dieser Gegensatz in dem Größenverhältnis der ausgewachsenen Blätter an den Stöcken



Die Schattenspalme (*Corypha umbraculifera*) auf Ceylon.
Nach Aquarell von Ernst Haeckel.

ein und derselben Art, je nachdem sie an besonnten Orten mit trockener Luft oder an schattigen Standorten mit feuchter Luft gewachsen sind, geht mitunter so weit, daß der ganze physiognomische Eindruck der Pflanze ein anderer wird, und daß man leicht glauben könnte, verschiedene Pflanzenarten vor sich zu haben. Exemplare der *Convallaria Polygonatum*, welche in schattigen, von Bächen durchrieselten Auen wachsen, zeigen Blätter, die wenigstens dreimal so groß sind als jene, welche in der guten feuchten Erde auf den Gefimfen steiler Felswände stehen und dort den ganzen Tag von der Sonne beschienen werden. Dieses Verhältnis könnte noch an zahlreichen anderen Pflanzen der mitteleuropäischen Flora erläutert werden; es genügen aber wohl die obigen Beispiele, um die Tatsache festzustellen, daß die Laubblätter an schattigen Orten in feuchter Luft trotz geringerer Wärmemenge, welche ihnen dort geboten wird, einen größeren Umfang annehmen als an besonnten Orten, wo die Blätter einer trockeneren Luft ausgesetzt sind.

Eine scheinbare Ausnahme findet man nur dort, wo diese Pflanzen aus dem Bereiche des Waldes in die alpine Region verschlagen werden. Auf den sonnigen Halben des Monte Baldo in Venetien, weit über der Holzgrenze, grünt ein Lärchensporn (*Corydalis fabacea*) mit derselben Üppigkeit wie im schattigen Waldgrunde des niederen Hügellandes, und an einer Stelle der Solsteinkette in Tirol erheben sich über das Gerölle in einer Seehöhe von 1800 m Binkelkraut und gelbe Taubnessel, Baldrianarten, Seidelbast und Farne mit demselben Umfang ihrer Blätter und Wedel wie im Waldesshatten der Tiefregion. Diese Ausnahmen sind aber nur scheinbare. Dort, wo diese Pflanzen auf den lichtumflossenen Höhen in der Alpenregion gedeihen, ist die Luft gerade so feucht wie im Grunde des Waldes um 1000 m tiefer im Tale. Wochenlang wallen dort oben Nebel um die Gehänge, und die Luft ist daselbst gewiß nicht trockener als im Walde des Tales. Ja der Umstand, daß Pflanzen, welche man als Bewohner der schattigen Wälder in den Talgründen kennt, in der alpinen Region an sonnigen Stellen mit gleichem Umfang und gleicher Form des Laubes gedeihen, ist sogar ein Beweis dafür, daß diese Gewächse im Waldesshatten der Tiefregion nicht infolge der Beschattung, sondern wegen der größeren dort herrschenden Luftfeuchtigkeit ein so großes Laub erhalten. Die Pflanze sucht eben durch Ausbildung einer umfangreichen transpirierenden Fläche den nachteiligen Einfluß der größeren Luftfeuchtigkeit auszugleichen, sei es im Schatten des Waldes, sei es auf den lichten Höhen der Berge. Insofern kann man demnach die Vergrößerung der Blattfläche ohne weiteres auch als ein Förderungsmittel der Transpiration ansehen.

Noch viel auffallender als in der gemäßigten Zone tritt dieses Förderungsmittel der Transpiration in der Tropenzone in Kraft. Namentlich an den bezeichnendsten Pflanzenformen der Tropen, an den Palmen, kann man die Beobachtung machen, wie die Größe der Blattflächen mit dem Feuchtigkeitszustande der Luft innig zusammenhängt, und wie gerade in jenen Gebieten, wo infolge der Sättigung der Luft mit Wasserdampf die Pflanzen nur schwierig transpirieren, die Palmen die größten Blätter entwickeln. In den feuchtesten Strichen Ceylons erhebt die riesige *Corypha umbraculifera* (s. die beigeheftete Tafel „Die Schattenpalme [*Corypha umbraculifera*] auf Ceylon“) ihren Stamm über die Kronen aller anderen Gewächse und entwickelt ihre Blattflächen in einem Längenausmaße von 7—8 und in einer Breite von 5—6 m. An ähnlichen Orten entfaltet in Brasilien die Tupatipalme (*Raphia taedigera*) ihre Wedel gleich einem riesigen Federbusche. Schon der Stiel jedes Blattes schiebt sich 4—5 m vor, und die grüne gefiederte Blattmasse erreicht eine Länge von 19—22 und



Die Schattenspalme (*Corypha umbraculifera*) auf Ceylon.
Nach Aquarell von Ernst Haeckel.

ein und derselben Art, je nachdem sie an besonnten Orten mit trockener Luft oder an schattigen Standorten mit feuchter Luft gewachsen sind, geht mitunter so weit, daß der ganze physiognomische Eindruck der Pflanze ein anderer wird, und daß man leicht glauben könnte, verschiedene Pflanzenarten vor sich zu haben. Exemplare der *Convallaria Polygonatum*, welche in schattigen, von Bächen durchrieselten Auen wachsen, zeigen Blätter, die wenigstens dreimal so groß sind als jene, welche in der guten feuchten Erde auf den Gefsimen steiler Felswände stehen und dort den ganzen Tag von der Sonne beschienen werden. Dieses Verhältnis könnte noch an zahlreichen anderen Pflanzen der mitteleuropäischen Flora erläutert werden; es genügen aber wohl die obigen Beispiele, um die Tatsache festzustellen, daß die Laubblätter an schattigen Orten in feuchter Luft trotz geringerer Wärmemenge, welche ihnen dort geboten wird, einen größeren Umfang annehmen als an besonnten Orten, wo die Blätter einer trockeneren Luft ausgesetzt sind.

Eine scheinbare Ausnahme findet man nur dort, wo diese Pflanzen aus dem Bereiche des Waldes in die alpine Region verschlagen werden. Auf den sonnigen Halben des Monte Baldo in Venetien, weit über der Holzgrenze, grünt ein Lärchenporn (*Corydalis fabacea*) mit derselben Üppigkeit wie im schattigen Waldgrunde des niederen Hügellandes, und an einer Stelle der Solsteinkette in Tirol erheben sich über das Gerölle in einer Seehöhe von 1800 m Binglekraut und gelbe Taubnessel, Baldrianarten, Seidelbast und Farne mit demselben Umfang ihrer Blätter und Wedel wie im Waldesshatten der Tiefregion. Diese Ausnahmen sind aber nur scheinbare. Dort, wo diese Pflanzen auf den lichtumflössenen Höhen in der Alpenregion gedeihen, ist die Luft gerade so feucht wie im Grunde des Waldes um 1000 m tiefer im Tale. Wochenlang wallen dort oben Nebel um die Gehänge, und die Luft ist daselbst gewiß nicht trockener als im Walde des Tales. Ja der Umstand, daß Pflanzen, welche man als Bewohner der schattigen Wälder in den Talgründen kennt, in der alpinen Region an sonnigen Stellen mit gleichem Umfang und gleicher Form des Laubes gedeihen, ist sogar ein Beweis dafür, daß diese Gewächse im Waldesshatten der Tiefregion nicht infolge der Beschattung, sondern wegen der größeren dort herrschenden Luftfeuchtigkeit ein so großes Laub erhalten. Die Pflanze sucht eben durch Ausbildung einer umfangreichen transpirierenden Fläche den nachteiligen Einfluß der größeren Luftfeuchtigkeit auszugleichen, sei es im Schatten des Waldes, sei es auf den lichten Höhen der Berge. Insofern kann man demnach die Vergrößerung der Blattfläche ohne weiteres auch als ein Förderungsmittel der Transpiration ansehen.

Noch viel auffallender als in der gemäßigten Zone tritt dieses Förderungsmittel der Transpiration in der Tropenzone in Kraft. Namentlich an den bezeichnendsten Pflanzenformen der Tropen, an den Palmen, kann man die Beobachtung machen, wie die Größe der Blattflächen mit dem Feuchtigkeitszustande der Luft innig zusammenhängt, und wie gerade in jenen Gebieten, wo infolge der Sättigung der Luft mit Wasserdampf die Pflanzen nur schwierig transpirieren, die Palmen die größten Blätter entwickeln. In den feuchtesten Strichen Ceylons erhebt die riesige *Corypha umbraculifera* (s. die beigeheftete Tafel „Die Schattenpalme [*Corypha umbraculifera*] auf Ceylon“) ihren Stamm über die Kronen aller anderen Gewächse und entwickelt ihre Blattflächen in einem Längenausmaße von 7—8 und in einer Breite von 5—6 m. An ähnlichen Orten entfaltet in Brasilien die Tupatipalme (*Raphia taedigera*) ihre Wedel gleich einem riesigen Federbusche. Schon der Stiel jedes Blattes schiebt sich 4—5 m vor, und die grüne gefiederte Blattmasse erreicht eine Länge von 19—22 und

eine Breite von 12 m, das größte Maß, welches an einem Pflanzenblatte bisher beobachtet wurde. Andere Palmen, die ihre Blätter jahraus jahrein in der feuchtwarmen Atmosphäre wiegen, geben diesen Riesen nur wenig nach. Unter einem Blatte der Talipotpalme können zehn Personen mit Leichtigkeit Platz und Schutz finden, und wenn man sich die gefiederten Blätter der Sagopalme in den Straßen unserer Städte an die Häuser angelehnt denkt, würden sie mit ihrer Spitze das zweite Stockwerk erreichen. Viele dieser Palmenblätter, aufrecht gestellt, würden sich mit der Höhe kleinerer Bäume messen können. An allen diesen Palmenblättern ist die Oberhaut nur wenig verdickt, das Schwammparenchym gut entwickelt, die Spaltöffnungen in großer Zahl vorhanden und die Flächen der Blätter so gegen die auffallenden Sonnenstrahlen gerichtet, daß sie in ihrem ganzen Umfang ausgiebig durchleuchtet und durchwärmt werden können. Die besonnten Blätter werden förmlich geheizt, und so kann selbst in den feuchtesten Tropengebieten bei sehr geringen Änderungen der Temperatur und Luftfeuchtigkeit das unumgänglich nötige Maß der Transpiration erreicht werden. Ähnliche Verhältnisse wie an den Palmen beobachtet man an den Kroiden und Bananen. Auch diese zeigen die umfangreichsten Blätter in der mit Wasserdampf gesättigten oder nahezu gesättigten Atmosphäre an den Rändern stehender oder fließender Gewässer und in der feuchten Luft in den Lichtungen des tropischen Urwaldes.

Daß auch jene Sumpfpflanzen, die in dem stets feuchten Grunde der Seen und Teiche wurzeln, deren Stengel und Blattstiele direkt vom Wasser umflutet werden, und deren Blattspreiten der Wasserfläche aufliegen, wie beispielsweise die Seerosen (*Nymphaea*, *Victoria*), der Froschbiß (*Hydrocharis morsus ranae*) und die seerosenähnliche Villarsie (*Villarsia nymphoides*), Förderungsmittel der Transpiration bedürfen, ist selbstverständlich. Die Spreite der Blätter ist bei allen diesen Pflanzen scheibenförmig, die Blattscheiben liegen nebeneinander platt dem Wasserspiegel auf, und oft sind weite Strecken der Seen und Teiche mit den schwimmenden Blättern dieser Gewächse förmlich tapeziert. Die ganze obere Seite eines jeden Blattes kann von den Sonnenstrahlen getroffen und so das Blatt ganz durchleuchtet und durchwärmt werden. Der sich infolgedessen entwickelnde Wasserdampf kann aus den großen Luftlücken, welche die Blattscheiben durchziehen, nicht nach unten entweichen, da die untere, auf dem Wasser liegende und vom Wasser benetzte Seite keine Spaltöffnungen besitzt. Dafür ist die obere Seite mit Spaltöffnungen so reichlich versehen, daß auf 1 qmm 460 und auf ein einziges Seerosenblatt von 2¹/₂ qdm Durchmesser beiläufig 11¹/₂ Millionen kommen. Dieser eigentümliche Bau macht es möglich, daß selbst bei den auf dem Wasser schwimmenden Blättern eine ausgiebige Transpiration stattfindet. Bei den mit Spaltöffnungen versehenen belaubten Pflanzen sind die Außenwände der Oberhautzellen fast immer etwas dicker als die inneren und seitlichen Wände, und mit dem für Wasserdampf schwer durchgängigen Häutchen, das man Kutikula genannt hat, überzogen. Bei den Farnen der tropischen Zone, zumal bei den Baumbarnen, die in den von Wasser durchströmten, engen, windgeschützten Schluchten wachsen und dort ihre Wedel in einer ununterbrochen feuchtwarmen Luft ausbreiten, sind diese Außenwände so zart und dünn und erscheinen mit einer so schwachen Kutikula überzogen, daß sie sofort Wasser ausdünsten, wenn die Feuchtigkeit der Luft nur einigermaßen unter den vollen Sättigungsgrad herabsinkt, und sobald nur ein flüchtiger Sonnenstrahl auf kurze Zeit in die Schlucht einfällt. So ist eine dünn entwickelte Kutikula ebenfalls ein Förderungsmittel der Verdunstung.

Abgesehen von solchen Fällen, ist die Wasserabgabe der Oberhautzellen kaum nennenswert

und findet nur aus den Spaltöffnungen statt. Wo die Verdunstung gefördert werden soll, ist das grüne, schwammige Gewebe ungemein mächtig entwickelt, die lusterfüllten Lücken und Gänge, welche das Netz der vielarmigen Zellen labyrinthisch durchziehen, sind ausgedehnt und zahlreich, und die Gesamtoberfläche aller von der Luft bestrichenen Zellen im Inneren des Blattes besitzt einen mehrfach größeren Umfang als die Außenfläche der Oberhaut. Die Blätter mancher ununterbrochen von feuchtwarmer Luft umgebener tropischer Pflanzen, wie z. B. der brasilianischen *Franciscea eximia*, von der in der Figur 1 der Abbildung auf S. 200 ein Durchschnitt vorliegt, bestehen fast in ihrer ganzen Dicke nur aus einem lockeren, weitmaschigen Schwammparenchym, und es ist begreiflich, daß aus den Zellen dieses Gewebes sofort Wasser ausdunstet, sobald die Temperatur des Blattes durch die auffallenden Sonnenstrahlen über die Temperatur der umgebenden, wenn auch sehr feuchten Luft um nur einen Grad erhöht wird.

Von äußeren Bedingungen fördern die Transpiration erstens das Licht, welches die Spaltöffnungen zur weiten Öffnung veranlaßt, während sie sich bei Dunkelheit schließen, ferner die Erhöhung der Temperatur und endlich der Wind, welcher die umgebende Feuchtigkeit fortführt.

Die Freihaltung der Bahn für den Wasserdampf.

Damit der Austritt von Wasserdampf ungehindert vor sich gehen kann, sind bei allen Gewächsen, welche Spaltöffnungen besitzen, besondere Einrichtungen getroffen. Insbesondere richten sich diese gegen flüssiges Wasser, welches als Regen und Tau auf die Oberfläche der Blätter gelangt und dort die Spaltöffnungen verstopfen könnte. Die Weite offener Spaltöffnungen würde das Eindringen des Wassers durch Haarröhrchenwirkung zu gewissen Zeiten immerhin gestatten. Solange Licht und Wärme wirken, solange die Temperatur im Bereiche des Schwammparenchyms höher ist als jene der umgebenden Luft, solange infolgedessen Wasserdampf vom Schwammparenchym entwickelt und mit Gewalt durch die Spaltöffnungen hinausgetrieben wird, ist freilich an ein solches Eindringen nicht zu denken; denn es kann nicht zu gleicher Zeit, auf dem gleichen Wege und durch die gleiche Pforte Wasserdampf ausströmen und flüssiges Wasser einströmen. Wenn aber nach Sonnenuntergang infolge der Strahlung das Laub rasch abkühlt und sich Tau niederschlägt, oder wenn ein kalter Regen auf die Blätter niederrieselt und die Spaltöffnungen sich nicht schnell genug geschlossen haben sollten, so wäre es immerhin möglich, daß Wasser eindringt, ähnlich so, wie bei einer Retorte, deren Röhre in Wasser taucht, und deren Inhalt durch Unterstellen einer Lampe zum Verdampfen gebracht wurde, sofort das Wasser zurücksteigt, wenn man die erwärmende Lampe entfernt und sich die Retorte samt ihrem Inhalt abkühlt. Jedenfalls steht so viel außer Frage, daß schon der bloße Überzug einer Wasserschicht, der die Spaltöffnungen bedeckte, für die betreffende Pflanze einen großen Nachteil bilden würde, und zwar nicht nur mit Rücksicht auf die Transpiration, sondern auch für das unbehinderte Aus- und Einströmen der Gase für Ernährung und Atmung. Die Bahnen für die Gase und das verdunstende Wasser sowie die Spaltöffnungen als Mündungen dieser Bahnen müssen daher frei sein, sie dürfen nicht durch flüssiges Wasser abgesperrt werden.

Die Spaltöffnungen sind viel zu klein, um sie mit unbewaffnetem Auge sehen zu können. Dennoch kann man durch einen sehr einfachen Kunstgriff ermitteln, wo an einem Blatt oder

an einem grünen Zweige die Spaltöffnungen sich befinden. Man taucht ein Zweigstück oder ein Blatt in Wasser, zieht es nach einiger Zeit wieder heraus, schüttelt und schwenkt es leicht hin und her und sieht dann nach, welche Stellen benetzt wurden und welche unbenetzt geblieben sind. Wo das Wasser nicht in Tropfenform abrollte, sondern anhängt und zerfließen ist, da sind gewiß keine Spaltöffnungen in der Haut zu finden, dagegen kann man sicher darauf rechnen, an den Stellen, von welchen das Wasser abgelaufen ist und die nicht benetzt wurden, Spaltöffnungen anzutreffen. An achtzig unter hundert Fällen wird bei diesem Experiment nur die obere Blattseite benetzt, während die untere trocken bleibt, an zehn unter hundert Fällen bleiben beide Seiten trocken, und wieder an zehn unter hundert Fällen bleibt die obere Seite trocken, während die untere benetzt wird. Dem entspricht auch der Befund, daß in der weitaus größten Mehrzahl der Fälle die untere Seite die meisten Spaltöffnungen birgt, während die obere von denselben frei ist.

Es liegt nahe, dieses Verhältnis so zu deuten, daß die obere Seite am meisten dem Regen ausgesetzt ist, und daß die Spaltöffnungen aus diesem Grunde sich an der gegen Regen geschützten unteren Seite zusammendrängen. Diese im ersten Augenblicke so wahrscheinlich klingende Erklärung entspricht aber durchaus nicht dem wahren Sachverhalt. Die Erörterung der Gründe, warum es für die Pflanze von Vorteil ist, wenn die obere Blattseite frei von Spaltöffnungen ist, kann freilich erst später an die Reihe kommen; aber das eine ist doch schon hier zu sagen, daß die dem Boden zugewendete Blattseite, welche in den meisten Fällen sämtliche Spaltöffnungen vereinigt, nichts weniger als trocken bleibt. Das Regenwasser kommt auf diese Seite der horizontal gestellten Flachblätter allerdings nur in jenen Fällen, wo der Blattrand so gebaut ist, daß sich die auf das Blatt kommende Wasserschicht allmählich von der Oberseite zur Unterseite hinzieht, und das ist im ganzen genommen nur selten der Fall; desto häufiger aber ist für diese Blattseite die Benetzung durch den Nebel und den Tau. Da man bei Spaziergängen über Feld und Wiese an einem taufriischen Morgen in der Regel nur die nach oben gewendete Seite der Blätter zur Ansicht bekommt, so kann man leicht verführt werden, zu glauben, daß sich nur an dieser Seite Tau ansetzt. Wir gebrauchen auch das Wort „Taufall“ und sagen, daß sich der Tau „nieder schlägt“. In beiden Ausdrücken birgt sich die Vorstellung, daß der Tau ähnlich wie der Regen herabsinkt, und daß nur die obere Blattseite mit Wasserperlen belegt wird. Man braucht aber nur die Blätter umzukehren, um sich zu überzeugen, daß die untere Seite nicht weniger als die obere betaut ist; ja, man wird bei näherem Zusehen sogar finden, daß für die untere Seite der Tau noch weit mehr in Betracht kommt als für die obere, weil er dort viel länger zurückbleibt. Wenn die Sonne schon hoch am Himmel steht, die Tautropfen von der oberen Blattseite längst weggeleckt wurden und die Transpiration bereits im vollen Gang ist, kann man die untere Seite noch immer mit Tau beschlagen finden. Wenn nun aber in der Mehrzahl der Fälle die Spaltöffnungen an der unteren Blattseite liegen, und wenn diese Seite der Wassergefahr nicht weniger ausgesetzt ist als die obere, so wird es erklärlich, warum sich gerade auf der unteren Seite des Blattes die Einrichtungen, welche das Vordringen der Nässe bis zu den Spaltöffnungen verhindern sollen, weit häufiger finden als an der Oberseite.

Die wichtigsten dieser Einrichtungen aber sind folgende:

Zunächst ein Wachsüberzug. Dieser erscheint entweder als ein mehrlartiger Beschlag, oder als eine der Oberhaut fest anliegende feine Kruste, oder am häufigsten als eine unendlich

dünne, abwischbare Schicht, als ein zarter Anhauch, der im Volksmunde den Namen „Reif“ erhalten hat. Eine Gruppe von Primeln, deren Arten den Gebirgsgegenden und den Mooren der Niederungen angehören, und als deren verbreitetste und bekannteste Vertreterin die *Primula farinosa* gelten kann, trägt rosettig gestellte, über dem feuchten Boden ausgebreitete Blätter, und die Unterseite dieser Blätter zeigt einen weißen Belag, der sich unter dem Mikroskop als ein Hauswerk von kurzen Stäbchen und Kügelchen einer wachsartigen Masse herausstellt. Pflückt man das Blatt einer solchen Primel ab, hält es eine Zeitlang unter Wasser und zieht es dann an die Luft, so erscheint die obere, von Spaltöffnungen ganz freie Seite mit einer zerfloffenen Wasserschicht benetzt, während die untere Seite, an der sich von dem mehligem Beschlage verdeckt die Spaltöffnungen finden, ganz trocken bleibt. Die untere Seite der Blätter mehrerer, die feuchten, nebelreichen Flußufer bewohnender Weiden (*Salix amygdalina*, *purpurea*, *pruinosa*) sowie einer großen Zahl von Binsen, Simsen und rohrartigen Gräsern ist mit einer feinen, anliegenden Wachs-schicht bedeckt. Wenn man zur Zeit des stärksten Taues durch ein Weidengebüsch oder durch ein Ried streift, so kann man sehen, daß an der unteren Seite der Blätter zwar reichlich Wassertropfchen anhängen, daß sie aber diese Seite nicht eigentlich benetzen und nicht zerfließen, sondern bei der leisesten Erschütterung abrollen und abfallen, womit wohl zusammenhängt, daß man nicht leicht bei einer Wanderung durch pflanzenbewachsenes Gelände so gründlich durchnäßt wird, wie bei einem Besuche von Weidenauen und Wiesenmooren. Bekannt sind die zwei weißen Streifen an der unteren Seite der Tannennadeln, die gleichfalls aus einem Wachsüberzuge bestehen und die Benetzung der darunter befindlichen Spaltöffnungen verhindern. In den Wacholderarten (z. B. *Juniperus communis*, *nana*, *Sabina*) finden sich dagegen die zwei weißlichen Wachsstreifen an der oberen Seite der Blättchen, und es ist interessant, zu sehen, wie hier auch die Verteilung der Spaltöffnungen wieder eine entsprechende ist; denn der Wacholder gehört zu jenen Pflanzen, bei denen die Unterseite des Blattes frei von Spaltöffnungen ist, während die Oberseite genau so weit, wie der Wachsüberzug reicht, mit Spaltöffnungen besät ist. Auch mehrere Gräser (z. B. *Festuca punctoria*) haben nur an der oberen Blattseite die Spaltöffnungen, und zwar genau so weit, wie diese Seite mit Wachsstreifen belegt ist. Überhaupt ist der Wachsüberzug dasjenige Schutz- und Sicherungsmittel gegen Benetzung, das für den Fall des Vorkommens von Spaltöffnungen an der oberen Blattseite am häufigsten zur Ausbildung gekommen ist. Die Blattoberseiten der Erbsen, der Kapuzinerkresse, des Geißblattes, des Mohnes, des Erdrauches, der Wachsblume, mehrerer Nelken, des Kohles, des Waides und noch zahlreicher anderer Schotengewächse, die Spaltöffnungen haben, sind auch mit Wachs überzogen, und man kann sich leicht überzeugen, daß über das Laub einer Erbsenstaude oder über die obere Seite eines Kohlblattes das aufgegoßene Wasser gerade so wie über den Hals und Rücken einer Ente oder eines Schwanes in Tropfenform abrollt, ohne die Fläche zu benetzen.

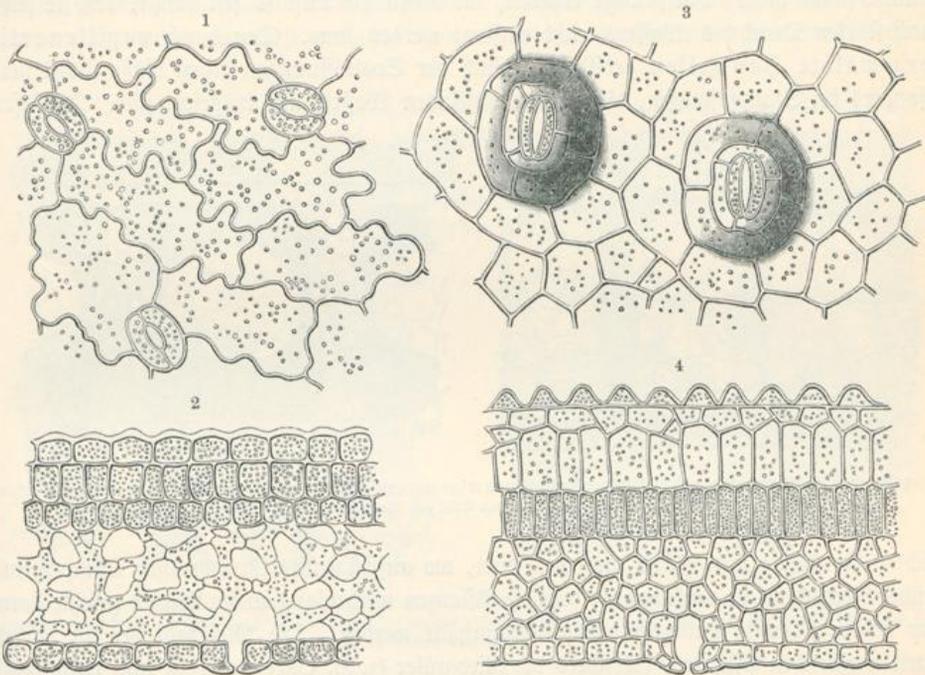
Auf eine ganz eigentümliche Weise wird die Bahn für den Wasserdampf bei den Blättern der Seerosen freigehalten, deren langgestielte Blattscheiben in horizontaler Lage auf der Wasseroberfläche schwimmen. Wenn der Regen auf diese Blätter niederfällt, so könnte das Wasser längere Zeit auf ihrer Oberseite, die mit Tausenden von Spaltöffnungen versehen ist, zurückbleiben und sich dort auch dann noch erhalten, wenn nach dem Regen die Sonnenstrahlen aus dem Gewölk hervorbrechen, die schwimmenden Blätter erwärmen und zur Transpiration anregen. Damit das vermieden werde, ist die Einrichtung getroffen, daß die obere Seite der schwimmenden Blattscheiben nicht benetzbar ist. Die auffallenden Regentropfen

bilden auf derselben Wasserperlen und zerfließen nicht auf der Blattfläche. Damit aber auch diese Wasserperlen nicht längere Zeit auf dem Blatte verharren, ist bei den meisten hierher gehörigen Formen, so namentlich bei der weitverbreiteten Seerose (*Nymphaea alba*), die Blattscheibe dort, wo sie dem Stiel aufsitzt, etwas erhöht und der Rand der Blätter ist etwas wellenförmig hin- und hergebogen. Es entstehen dadurch am Umfange der Scheibe sehr flache Vertiefungen, durch die bei der geringsten schaukelnden Bewegung die Wassertropfen von der Mitte des Blattes über den Rand wieder ins Wasser rollen.

Ein anderes Mittel, wodurch dem Vordringen des Wassers bis zu den Spaltöffnungen eine Schranke gesetzt wird, ist die Ausbildung von Haaren. Es wird auf diese Gebilde, welche im Haushalte der Natur eine so vielseitige Verwendung finden, noch später zurückzukommen sein, und es ist hier nur derjenigen haarigen und filzigen Überzüge zu gedenken, welche die Aufgabe haben, die Benetzung der Spaltöffnungen zu verhindern. In dieser Beziehung aber sind als Beispiele zunächst mehrere in Wassergräben und Sümpfen wachsende Malvaceen (z. B. *Althaea officinalis*), dann einige Königskerzen (z. B. *Verbascum Thapsus* und *phlomoides*) zu nennen, deren Blätter nicht nur an der unteren, sondern auch an der oberen Blattseite mit Spaltöffnungen versehen und dementsprechend auch an beiden Seiten mit haarigen, nicht benetzbaren Überzügen versehen sind. Auf den feuchten Wiesen in den Boralpentälern wächst eine Flockenblume (*Centaurea Pseudophrygea*), deren große, beiderseits behaarte Blätter sehr uneben und stark runzelig sind. Die Spaltöffnungen sind auf die Vertiefungen zwischen den Runzeln beschränkt. Fällt Regen oder beschlägt sich das Blatt mit Tau, so bleibt das Wasser in Perlenform an den Härchen der erhöhten Stellen hängen, die Zellen der Oberhaut in der Umgebung der Spaltöffnungen in den Gruben und Vertiefungen werden aber nicht benetzt. Auch an mehreren Alpenpflanzen, wie z. B. an dem zottigen Habichtskraute (*Hieracium villosum*), erscheinen nach Regen- oder Taufall zwar die von den Blättern abstehenden langen Haare ganz dicht mit Wassertropfen besetzt, zu der darunter befindlichen spaltöffnungsreichen Oberhaut aber gelangt kein Wasser.

Besonders hervorzuheben ist hier auch der Umstand, daß Pflanzen mit zweifarbigem Laube, namentlich solche, deren Blätter oberseits grün, kahl, frei von Spaltöffnungen und von Wasser benetzbar, unterseits weiß oder grau behaart, reich an Spaltöffnungen und von Wasser nicht benetzbar sind, an den Ufern der Gewässer besonders häufig vorkommen. In den lichten Gehölzen, welche in den Talflächen der Gebirgsgegenden die Gestade der Flüsse besäumen, also an Orten, wo an jedem Sommerabend Nebel ziehen, die alle Zweige, Blätter und Halme mit Wassertröpfchen beschlagen, gedeihen als bezeichnendste Arten die Grauerle und die graue Weide (*Alnus incana* und *Salix incana*), und als Unterholz findet man dort allenthalben die Himbeere, durchweg Pflanzen, welche mit dem eben beschriebenen zweifarbigem Laube geschmückt sind. Und treten wir aus dem Bereiche des Ufergehölzes auf die angrenzende Wiese, durch die das frische Wasser einer Quelle rieselt, und wo nach hellen Nächten noch bis zur Mittagszeit des folgenden Tages alles von Tau trieft: da ist so recht die Heimat für die Kräuter und Stauden mit oberseits grünen und unterseits weißen Flachblättern, da gedeihen in größter Üppigkeit die Kragdisteln mit unterseits weißfilzigem Laube (z. B. *Cirsium heterophyllum* und *canum*), da erhebt sich die ulmenblättrige Spierstaude (*Spiraea Ulmaria*) mit ihren zweifarbigem, großen Blättern, und da ist das ganze Minnsal des Quellbaches eingefaßt mit den Blättern des Huslattichs (*Tussilago Farfara*), welche man geradezu als Vorbilder für zweifarbigem Flachblätter hinstellen könnte.

Welcher Gegensatz, wenn wir vielleicht noch um tausend Schritt weiter in die hoch gewölbten Hallen eines geschlossenen Waldes eintreten, wo sich im schattigen Grunde wenig oder gar kein Tau bildet, und wo die über dem braunen Erdreiche sich ausbreitenden Blätter kaum jemals einer Durchnässung ausgesetzt sind! Dort gibt es kein zweifarbiges Laub, keine Blätter, die oberseits grün und kahl und unterseits weißfilzig erscheinen, ebenso wie dort auch Pflanzen fehlen, welche gleich der auf den Mooren wachsenden *Primula farinosa* eine mit Wachsschichten dick belegte untere Blattspreite aufweisen würden. Dagegen finden sich daselbst Farne, z. B. *Blechnum Spicant*, deren Wedel mit Spaltöffnungen versehen

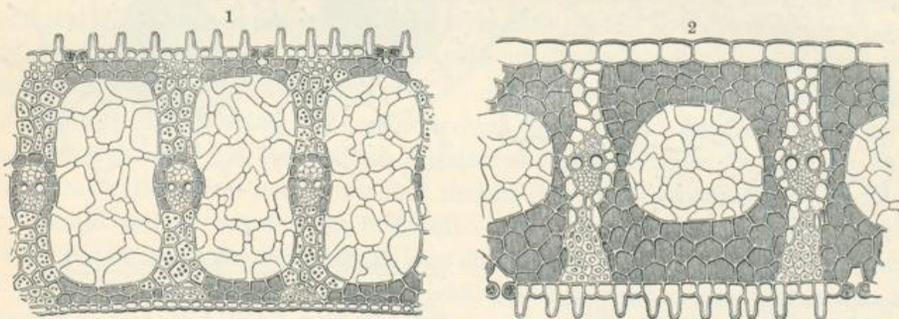


Spaltöffnungen: 1 Flächenansicht eines Stückes aus dem Wedel des Farnes *Nephrodium Filix mas*, 2 Querschnitt durch dieses Stück; 3 Flächenansicht eines Stückes aus dem Blatte von *Poporomia arifolia*, 4 Querschnitt durch dieses Stück, 350fach vergrößert.

sind, die gänzlich ungeschützt auf wellenförmigen Vorwölbungen der grünen Fläche münden. Aber nicht nur in den kühlen Gegenden des Nordens, auch in den tropischen Landschaften wiederholt sich dieser Gegensatz in betreff des Laubes an den Pflanzen der offenen Sumpflandschaft und jenen des Waldinneren. Auch dort findet man unter dem geschlossenen Laubdache mächtiger Bäume, wo die nächtliche Ausstrahlung verhindert ist und der Tau fehlt, niemals Gewächse mit unterseits weiß behaarten Blättern, wohl aber solche mit ganz ungeschützten, auf erhabenen, vorgewölbten Punkten der Oberhaut mündenden Spaltöffnungen, wie z. B. an *Pomaderris phyllicifolia* und an den Blättern der Pfefferarten, z. B. der *Peperomia arifolia* (s. obenstehende Abbildung, Fig. 3 und 4).

Eine sehr merkwürdige Einrichtung, durch welche die Spaltöffnungen vor Nässe bewahrt werden, besteht darin, daß die Oberfläche der mit ihnen ausgerüsteten Haut mit unzähligen kleinen Hervorragungen und Vertiefungen versehen ist. Fallende Tropfen rollen von

solchen Flächen ab; das Wasser vermag die atmosphärische Luft aus den Vertiefungen nicht zu verdrängen, und Blätter und Stengel sind daher, soweit ihre Oberhaut die angeedeuteten Unebenheiten zeigt, mit einer dünnen Luftschicht überzogen. Da die Spaltöffnungen in den kleinen Vertiefungen liegen, so bleiben sie stets unbenezt und kommen selbst dann mit dem Wasser nicht in Berührung, wenn der betreffende Pflanzenteil ganz untergetaucht wird. Die Unebenheit des Blattes wird entweder dadurch veranlaßt, daß sich die Außenwände eines Teiles der Hautzellen stark nach außen wölben, oder aber in der Weise, daß sich von den Hautzellen, und zwar von der Kutikula genannten Verdichtungsschicht der Außenwand zapfenförmige (nicht hohle) Vorsprünge erheben, an denen die Luft so fest hängt, daß sie selbst durch starken Druck des Wassers nicht entfernt werden kann. Den durch papillenartig vorgewölbte Hautzellen gebildeten Schutz der Spaltöffnungen gegen Nässe findet man besonders bei Sumpfpflanzen, die einem wechselnden Wasserstand ausgesetzt sind. Im Ufer-

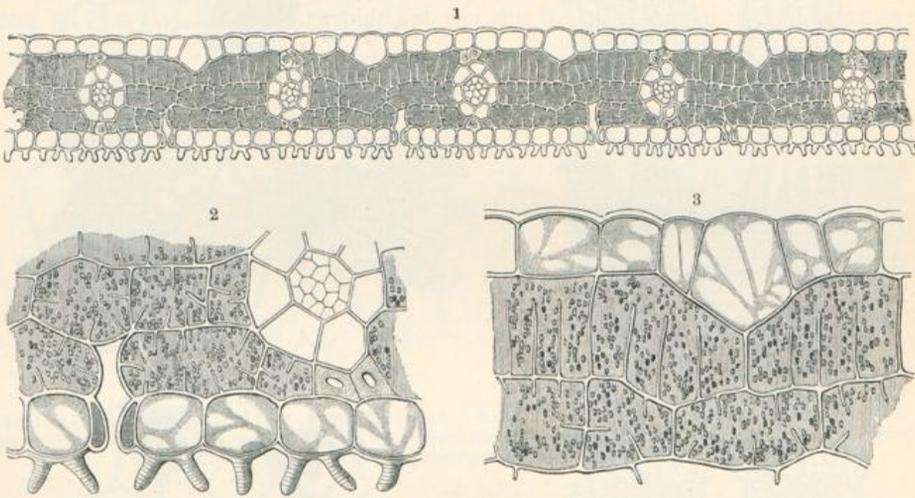


Schutz der Spaltöffnungen gegen Nässe durch papillenartige vorgewölbte Hautzellen: 1 Querschnitt durch ein Stück des Blattes von *Glyceria spectabilis*; 2 Querschnitt durch ein Stück des Blattes von *Carex paludosa*, 200fach vergrößert.

gelände der Bäche und Flüsse und auch dort, wo aufsteigendes Grundwasser Tümpel und Teiche bildet, kann es vorkommen, daß die Pflanzen wochenlang unter Wasser gesetzt, dann aber wieder Monate hindurch von Luft umspült werden. Die Mehrzahl der an solchen Orten wachsenden Pflanzen, besonders die Riedgräser (z. B. *Carex stricta* und *paludosa*), die Binzen (z. B. *Scirpus lacustris*), die meisten hochwüchsigen, rohrartigen Gräser (*Glyceria spectabilis*, *Phalaris arundinacea*, *Eulalia japonica*), dann die in Gesellschaft der Riedgräser wachsenden Stauden (z. B. *Lysimachia thyrsiflora*, *Polygonum amphibium*) und noch viele andere Sumpfpflanzen, sind der Gefahr, daß ihre Spaltöffnungen während der Zeit des Untergetauchtheins benezt werden, dadurch entriickt, daß ein Teil der Hautzellen in der Umgebung der Spaltöffnungen papillenartig vorgewölbt ist, wie es die obenstehende Abbildung zur Anschauung bringt.

Die Bambusarten sowie die dem Bambus ähnlichen Gräser *Arundinaria glaucescens* und *Phyllostachys bambusoides*, weiterhin einige Riedgräser (z. B. *Carex pendula*) zeigen dagegen die erwähnten zapfenförmigen Auswüchse der Kutikula, wie sie am Durchschnitte des Blattes einer Bambusa in der Abbildung auf S. 211 zu sehen sind. Ein solches Bambusblatt unter Wasser getaucht gibt ein überraschendes Bild. Die Oberseite, welche frei von Spaltöffnungen, dunkelgrün und mit ebenflächiger, glatter Haut versehen ist, wird in ihrem ganzen Umfange benezt, behält ihre dunkle Farbe und erscheint glanzlos; von der unteren Seite dagegen, die mit Spaltöffnungen besät, bläulichgrün und mit Tausenden

von Kutikularzapfen besetzt ist, läßt sich die Luft durch das Wasser nicht verdrängen, und es erglänzt diese mit einer Luftschicht überzogene Seite unter Wasser wie blankes, poliertes Silber. Man kann das Blatt unter Wasser schwenken und schütteln, so viel man will, man kann es auch wochenlang unter Wasser lassen, die silberglänzende Luftschicht wird nicht verdrängt. Zieht man ein solches Blatt dann aus dem Wasser, so ist zwar die Oberseite ganz benetzt, die Unterseite aber ist so trocken geblieben wie eine Hand, die man in Quecksilber getaucht und wieder hervorgezogen hat, und nicht das kleinste Tröpfchen Wasser ist an dieser unteren Seite des Bambusblattes hängengeblieben. Bringt man einen mit Wasser gefüllten Becher, in dem Bambusblätter bis zur Mitte in die Flüssigkeit versenkt sind, unter die Luftpumpe und pumpt die Luft aus, so lösen sich sofort von dem untergetauchten Teile der

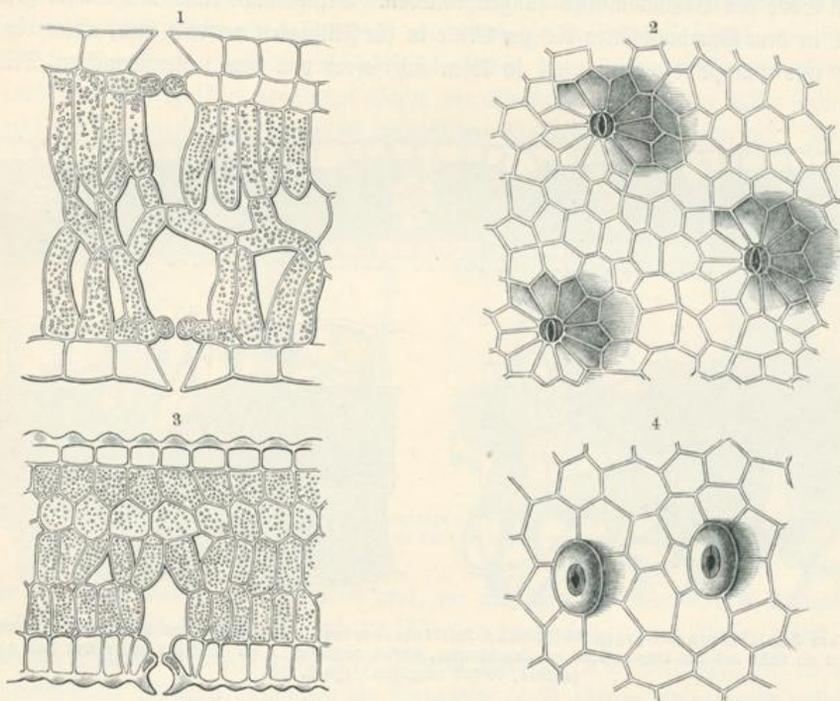


Schutz der Spaltöffnungen gegen Nässe durch Kutikularzapfen: 1 Querschnitt eines Bambusblattes, 180fach vergrößert; 2 ein Stück aus dem unteren Teile des Querschnittes, 460fach vergrößert; 3 ein Stück aus dem oberen Teile des Querschnittes, 460fach vergrößert. (Zu S. 210.)

Blätter zahlreiche Luftbläschen los. Jetzt verschwindet endlich auch der Silberglanz, und die Luft zwischen den Kutikularzapfen wird durch Wasser ersetzt. Taucht man hierauf das Blatt ganz unter das Wasser, so erscheint der Silberglanz nur an jenem Teile, der früher nicht unter Wasser war, wo daher auch die ausgepumpte Luft nicht durch Wasser verdrängt werden konnte, wohl aber beim Öffnen des Hahnes der Luftpumpe durch eindringende andere Luft ersetzt wurde. Aus diesem Versuche läßt sich entnehmen, wie sehr die Spaltöffnungen durch Nässe gefährdet sein würden, wenn die betreffenden Pflanzen nicht durch die geschilderten, eine Luftschicht festhaltenden Kutikularzapfen gegen Benetzung geschützt wären.

Bei vielen Pflanzen und zwar ganz vorzüglich bei solchen, die immergrünes Laub tragen, findet man die Einrichtung getroffen, daß die Spaltöffnungen mit einem Wall umgeben oder in besondere Gruben und Furchen eingesenkt sind. Schon an den sommergrünen Blättern mancher Pflanzen unserer Flora, z. B. denen der gelben Rübe (*Daucus Carota*), werden die Schließzellen der Spaltöffnungen von den angrenzenden Oberhautzellen so überwölbt, daß dadurch eine Art Vorhof vor der eigentlichen Pforte gebildet ist. Man überzeugt sich leicht, daß Wassertropfen, die an solche Stellen kommen, nicht

imstande sind, die Luft aus diesem Vorhofe zu verdrängen, und daher auch nicht bis zu den Schließzellen der Spaltöffnung einzudringen vermögen. Bei *Hakea florida* und *Protea mellifera* (s. untenstehende Abbildung), zwei australischen Sträuchern, verhält es sich ähnlich, doch sind da die Spaltöffnungen noch mehr überwölbt, so daß sie der auf die Blattfläche Sehende nur durch kleine Löcher an der Kuppel der Gewölbe wahrnimmt. Auch die Spaltöffnungen an den grünen Zweigen der verschiedenen Arten von Meerträubel (*Ephedra*) sind von wallförmigen Vorsprüngen der Kutikula benachbarter Hautzellen umrandet und

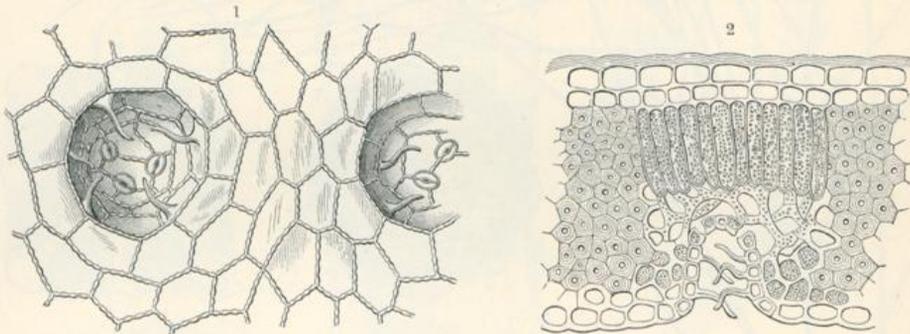


überwölbte Spaltöffnungen australischer Proteazeen: 1 Querschnitt durch ein Blatt der *Hakea florida*, 2 Flächenansicht desselben Blattes, 320fach vergrößert; 3 Querschnitt durch ein Blatt der *Protea mellifera*, 4 Flächenansicht desselben Blattes, 360fach vergrößert.

gleichzeitig etwas in die Tiefe versenkt, so daß über jeder Spaltöffnung ein amphorenartiger Raum entsteht, aus dem das Wasser die Luft nicht verdrängen kann. In den Blättern von *Dryandra floribunda*, einer in den Gebüschdichten Australiens vorkommenden Proteazee, sind mehrere Spaltöffnungen (s. Abbildung, S. 213) im Grunde von Grübchen an der Unterseite des Blattes zusammengedrängt, und von der Seitenwand der Grübchen gehen haarförmige Gebilde aus, die sich untereinander verstricken und einen lockeren, zwar für Gase, nicht aber auch für Flüssigkeiten passierbaren Filz bilden. Ähnlich verhält es sich auch mit den Spaltöffnungen an den Blättern des Oleanders (*Nerium Oleander*). Auch diese liegen im Grunde tiefer Gruben an der unteren Blattseite, und auch da ist der Zugang zur Grube mit ungemein zarten, haarähnlichen Gebilden besetzt (s. Abbildung, S. 225). Der Oleander besäumt mit seinen immergrünen Büschen im mittelländischen Florengebiete die Ufer der Bäche in offener, sonniger Landschaft und ist an seinem natürlichen Standorte gerade

in jener Zeit, in der für ihn die Transpiration eine wahre Lebensfrage ist, der Benetzung durch Regen, Nebel und Tau am meisten ausgesetzt. Wenn sich aber die Blätter auch beiderseits mit einer Feuchtigkeitsschicht überziehen, in die grubenförmigen, mit Haaren ausgekleideten Vertiefungen, welche die Spaltöffnungen bergen, vermag doch niemals Wasser einzudringen, und die Transpiration ist daher selbst in der feuchtesten Periode des Jahres nicht gefährdet.

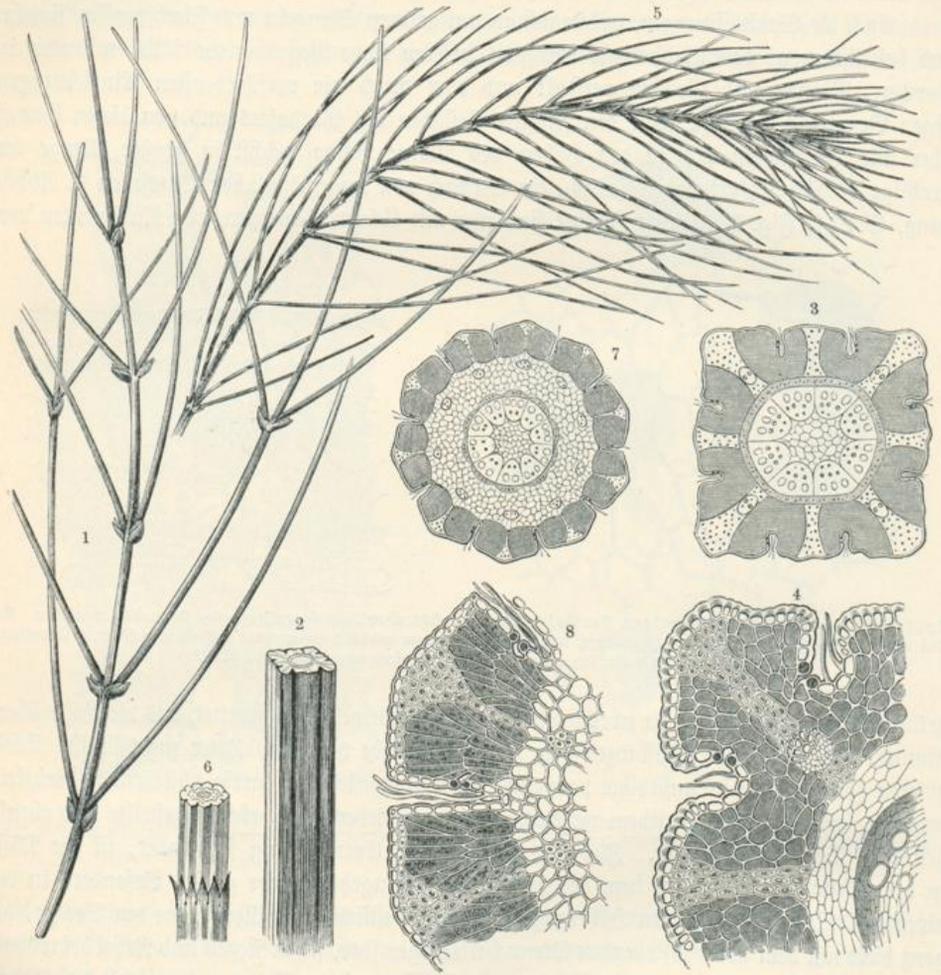
Auch die Spaltöffnungen, welche sich an den grünen Stengeln und Flachsprossen finden, sind bei Pflanzen, deren lebhafteste Tätigkeit in eine kurze Regenperiode fällt, mitunter in Furchen, Rinnen und Gruben versteckt und dort durch die verschiedensten Einrichtungen gegen Benetzung gesichert. An den felsigen Gestaden des Gardasees und von diesen hinauf über alle Berglehnen bis zu den Höhen des Monte Baldo wächst in großer Menge der strahlige Geißklee (*Cytisus radiatus*), ein Strauch von ungewöhnlichem Aussehen (s. Abbildung, S. 214, Fig. 1). Seine Zweige sind nur mit kleinen Schuppen, den Rudimenten von



Spaltöffnungen in grubenförmigen Vertiefungen: 1 Ansicht eines Blattes von *Dryandra floribunda*, von oben. Ein Teil der die Gruben erfüllenden Haare ist entfernt, um die Spaltöffnungen ersichtlich zu machen. 350fach vergrößert; 2 Querschnitt durch das Blatt der *Dryandra floribunda*, 300fach vergrößert. (Zu S. 212.)

grünen Blättern, besetzt, dafür aber selbst mit grünem Gewebe ausgestattet, das die Rolle übernimmt, die an belaubten Pflanzen dem grünen Gewebe der Laubblätter zugeteilt ist. Diese grünen Zweige sind in unzählige paarweise gegenübergestellte, sparrig abstehende Zweiglein verästelt, aus denen sich in jedem neuen Lenz immer wieder junge ebenso gestellte und ebenso gestaltete Sprosse entwickeln. Zur Zeit, wenn diese Entwicklung stattfindet, ist die Rasse in dem Teile der Südalpen, dem der Monte Baldo angehört, sehr groß. Besonders in der alpinen Region des genannten Höhenzuges, an den westlichen Abfällen gegen den See zu, die ganz dicht mit dem in Rede stehenden Strauch überzogen sind, setzen Regen und Nebel bei trübem und Tau bei hellem Wetter große Mengen von Wasser auf den Boden und auf die den Boden bekleidenden Pflanzen ab. Da ist es von Wichtigkeit, daß die grüne Rinde der rutenförmigen Zweige des strahligen Geißklee ungehindert transpirieren und atmen kann, und daß jede günstige Stunde, die diesen so wichtigen Lebenstätigkeiten gegönnt ist, voll und ganz ausgenutzt wird. Auch hier handelt es sich vor allem wieder um Freihaltung der Bahn für den Wasserdampf, der aus den Spaltöffnungen entweichen soll. Zu diesem Behufe sind nun bei dem genannten Geißklee die Spaltöffnungen in luftgefüllten Furchen angebracht, die sich in das grüne Gewebe einsenken und den grünen Zweigen ein gestreiftes Ansehen geben. Aus diesen engen Furchen, welche, sechs an der Zahl, an jedem grünen Zweige von Knoten zu Knoten hinauflaufen, vermag das Wasser die Luft nicht zu verdrängen; die Zweige können

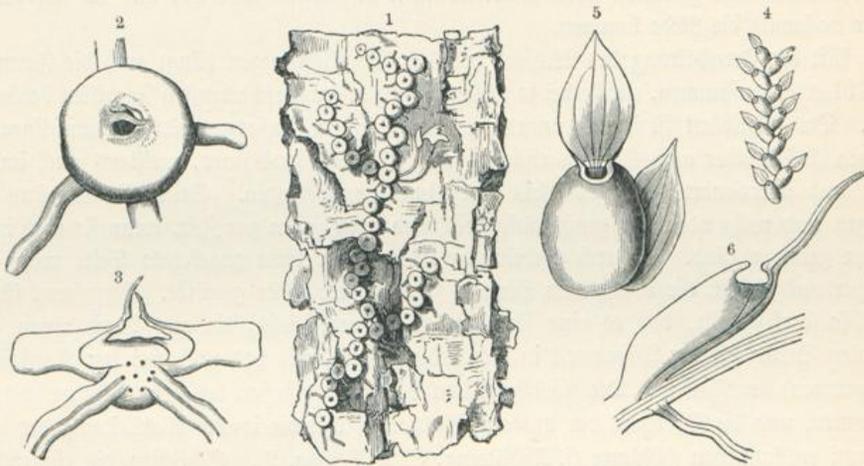
stundenlang unter Wasser getaucht bleiben, ohne daß Flüssigkeit in den Grund der Furchen eindringt. Überdies finden sich zur Abwehr des Wassers in diesen Furchen auch noch Haare, welche vom Wasser nicht benetzbar sind, und an denen die Luft ähnlich wie an den Kutikularzapfen der Bambusblätter festhängt. Eine klare Ansicht dieser Vorrichtung gibt die untenstehende



Spaltöffnungen in den Furchen grüner Stengel: 1 Zweig des strahligen Geißflees (*Cytisus radiatus*) in natürlicher Größe, 2 ein Zweigstück, 10fach vergrößert, 3 Querschnitt durch diesen Zweig, 30fach vergrößert, 4 ein Teil desselben Querschnittes, 150fach vergrößert; 5 Zweig des *Casuarina quadrivalvis* in natürlicher Größe, 6 ein Zweigstück, 8fach vergrößert, 7 Querschnitt durch diesen Zweig, 30fach vergrößert, 8 ein Teil des Querschnittes, 130fach vergrößert.

Abbildung, namentlich die Querschnitte durch den Stengel, Fig. 3 u. 4. Der danebenstehende Querschnitt eines grünen Zweiges einer australischen Kasuarinee (*Casuarina quadrivalvis*) zeigt, daß auch diese seltsamen Gewächse ganz die gleiche Vorrichtung haben, daß nämlich auch da wieder die Spaltöffnungen im Grund enger Furchen liegen, die sich entlang der grünen, blattlosen Zweige hinaufziehen, und daß in diesen Furchen ganz ähnlich wie in denen des strahligen Geißflees eigentümliche Haarbildungen, an welchen die Luft festhaftet,

die Wasserdichtigkeit erhöhen. Die Kasuarineen, welche mit ihrer Jahresarbeit in der sehr kurz bemessenen Regenperiode ihrer Heimat zu Ende kommen müssen, bedürfen während dieser Zeit des Schutzes einer ungehinderten Transpiration nicht weniger als der strahlige Geißflee in den Südalpen. Im ganzen genommen wird übrigens diese Vorrichtung nur selten angetroffen und findet sich außer an den australischen Kasuarineen und den mit dem strahligen Geißflee verwandten Arten (*Cytisus holopetalus*, *purgans*, *ephedroides*, *equisetiformis*, *candicans*, *albus* usw.) nur noch an etwa 20 strauchigen Schmetterlingsblütlern, vorzüglich der spanischen Flora, aus den Gattungen *Retama*, *Genista*, *Ulex*, *Sarothamnus*, merkwürdigerweise übrigens auch an einer durch die Gebirge des südlichen und mittleren Europa, über die Heiden der deutschen Niederung, Dänemarks, Belgiens und Englands



Orchideen, deren Spaltöffnungen in Aushöhlungen der Knollen liegen: 1 *Bolbophyllum minutissimum*, 2 ein Knöllchen dieser Pflanze, von oben gesehen, 8fach vergrößert, 3 Querschnitt durch dieses Knöllchen, 15fach vergrößert; 4 *Bolbophyllum Odoardi*, 5 ein Knöllchen dieser Pflanze, 6fach vergrößert, 6 Längsschnitt durch dieses Knöllchen, 6fach vergrößert.

weitverbreiteten kleinen Ginsterart, der niederen *Genista pilosa*, bei der das Vorkommen dieser Vorrichtung um so befremdender ist, als ihre grünen, gefurchten und in den Furchen mit Spaltöffnungen ausgestatteten Zweige nicht blattlos, sondern mit verhältnismäßig gut entwickelten Laubblättern geschmückt sind.

Zu den absonderlichsten Pflanzen, bei denen die Spaltöffnungen in versteckten, für Benetzung unzugänglichen Winkeln geborgen sind, gehören auch zwei winzige Orchideen, von denen die eine, *Bolbophyllum minutissimum*, gesellig mit Laubmoosen auf Sandsteinblöcken und an Baumrinden in den felsigen Schluchten bei Port Jackson und am Richmond River an der Ostküste Australiens, die andere, *Bolbophyllum Odoardi*, an ähnlichen Standorten auf Borneo vorkommt. Beide besitzen ein fadenförmiges Rhizom, das sich mit paarweise gruppierten Würzelchen (von nur 2—5 mm Länge und 0,3 mm Dicke) den Steinen und Baumrinden anheftet. Über der Ursprungsstelle eines jeden Wurzelpaares sitzt ein scheibenförmiges Knöllchen von $1\frac{1}{2}$ —3 mm Durchmesser und $\frac{1}{2}$ mm Dicke; dieses Knöllchen zeigt an der oberen Seite ein kaum $\frac{1}{10}$ mm weites Loch, das in eine den scheibenförmigen Knollen aushöhrende Kammer von 0,5 mm Weite und 0,1 mm Höhe führt (s. obenstehende Abbildung). Die Blätter des *Bolbophyllum minutissimum* sind zu winzigen, etwa $\frac{1}{2}$ mm langen, spitzen

Schüppchen reduziert, die zu zweien am Rande des Loches sitzen und sich über dieses zusammenneigen. An *Bolbophyllum Odoardi* trägt jedes der scheibenförmigen Knöllchen nur ein grünes Blättchen, das $1\frac{1}{2}$ mm lang und 1 mm breit und knapp an der Mündung des Loches postiert ist (s. Fig. 4, 5 u. 6, S. 215). Die Spaltöffnungen finden sich ausschließlich im Inneren der ausgehöhlten, scheibenförmigen Knöllchen. Durch die verengerte Mündung vermag Wasser in die luftgefüllte Höhle nicht einzudringen; und selbst dann, wenn in der Regenzeit der ganze Moossteppich, in den diese winzigsten aller Orchideen eingewoben sind, von Wasser geschwellt ist, kann die Transpiration, vorausgesetzt, daß die anderen Bedingungen derselben erfüllt sind, ungehindert vor sich gehen. Daß dieselben Bildungen, welche in der feuchten Periode des Jahres die Benetzung der Spaltöffnungen verhindern, in einer später folgenden Trockenperiode eine andere Funktion übernehmen können, ist selbstverständlich, und es soll hierauf später nochmals die Rede kommen.

Mit der Fernhaltung des Wassers von den Spaltöffnungen hängt auch die Form des Rollblattes zusammen, welche bei so vielen Pflanzen der verschiedensten Familien beobachtet wird. Das Rollblatt ist immer ungeteilt, von geringem Umfange, häufig schmal-lineal, in seltenen Fällen aber auch länglich-eiförmig und elliptisch, stets starr, meistens auch immergrün und überdauert dann zwei bis drei Vegetationsperioden. Seine Ränder sind umgebogen und mehr oder weniger zurückgerollt und zwar schon zur Zeit, wenn sie noch in der Knospe geborgen sind. Dadurch erscheint die untere, der Erde zugekehrte Seite mehr oder weniger ausgehöhlt, die obere, dem Himmel zugewendete Seite gewölbt. Manchmal ist das Blatt so stark gerollt, daß es eine förmliche Höhle umschließt, die nur durch einen ganz schmalen Spalt mit der Außenwelt in Verbindung steht, wie das z. B. bei der Raufschbeere (*Empetrum*) der Fall ist. Die zurückgerollten Blattränder stoßen bei dieser Pflanze fast ganz zusammen, und die Oberhaut der unteren Blattseite bildet die innere Auskleidung der durch Rollung entstandenen Höhlung (s. Abbildung, S. 217, Fig. 2). Schließen die eingerollten Ränder nicht so dicht zusammen, so erscheint an der unteren Seite des Blattes eine Rinne, die je nach dem Grade der Rollung mehr oder weniger vertieft ist, wie beispielsweise an den Eriken (*Erica castra, vestita* usw., s. Abbildung, S. 217, Fig. 1). Mitunter entwickelt sich eine Rinne, die in zwei seitliche, unter den eingerollten Rändern verlaufende Hohlkehlen geteilt ist, wie z. B. an den Blättern von *Andromeda tetragona* (s. Abbildung, S. 217, Fig. 3) und denen der lappländischen Rhamnazeen *Tylanthus ericoides* (s. Abbildung, S. 217, Fig. 4). Das von den zurückgerollten Rändern eingerahmte Mittelfeld wird häufig auch dadurch in zwei Längsrinnen geteilt, daß das Gewebe unterhalb der Mittelrippe des Blattes als eine breite, kräftige Leiste vorspringt. Man sieht dann an der unteren Seite drei in die Länge gestreckte parallele Wülste, einen mittleren, unter der Mittelrippe, und zwei seitliche, die von den zurückgerollten Rändern gebildet werden. Rechts und links von dem mittleren Wulste liegen dann zwei tiefe Rinnen, die sich schon dem freien Auge als helle Streifen zwischen den dunkelgrünen Wülsten kenntlich machen. So verhält es sich z. B. an den Blättern der auf der beigehefteten Tafel „Azaleenteppich auf den Höhen der Kjölen“ in natürlicher Größe dargestellten *Azalea procumbens*, einer auch unter dem Namen *Loiseleurea* bekannten Eriказее, welche durch Labrador, Grönland, Island, Lappland, überhaupt durch das ganze arktische Gebiet, dann durch die skandinavischen Hochgebirge, die Pyrenäen, Alpen und Karpaten weit verbreitet ist und überall, wo sie vorkommt, den Boden mit dichtgeschlossenen Teppichen überzieht. Den Durchschnitt eines Rollblattes dieser Pflanze zeigt die Abbildung auf S. 218.

[Zur Tafel: »Azaleenteppich auf den Höhen der Kjölen.«.]



Azaleenteppich auf den Höhen der Kjölen.

1. *Azalea procumbens*. — 2. *Cetraria Islandica*. — 3. *Cetraria nivalis*. — 4. *Cladonia alpestris*. —
5. *Cladonia rangiferina*.



Azaleenteppich auf den Höhen der Kjölen.

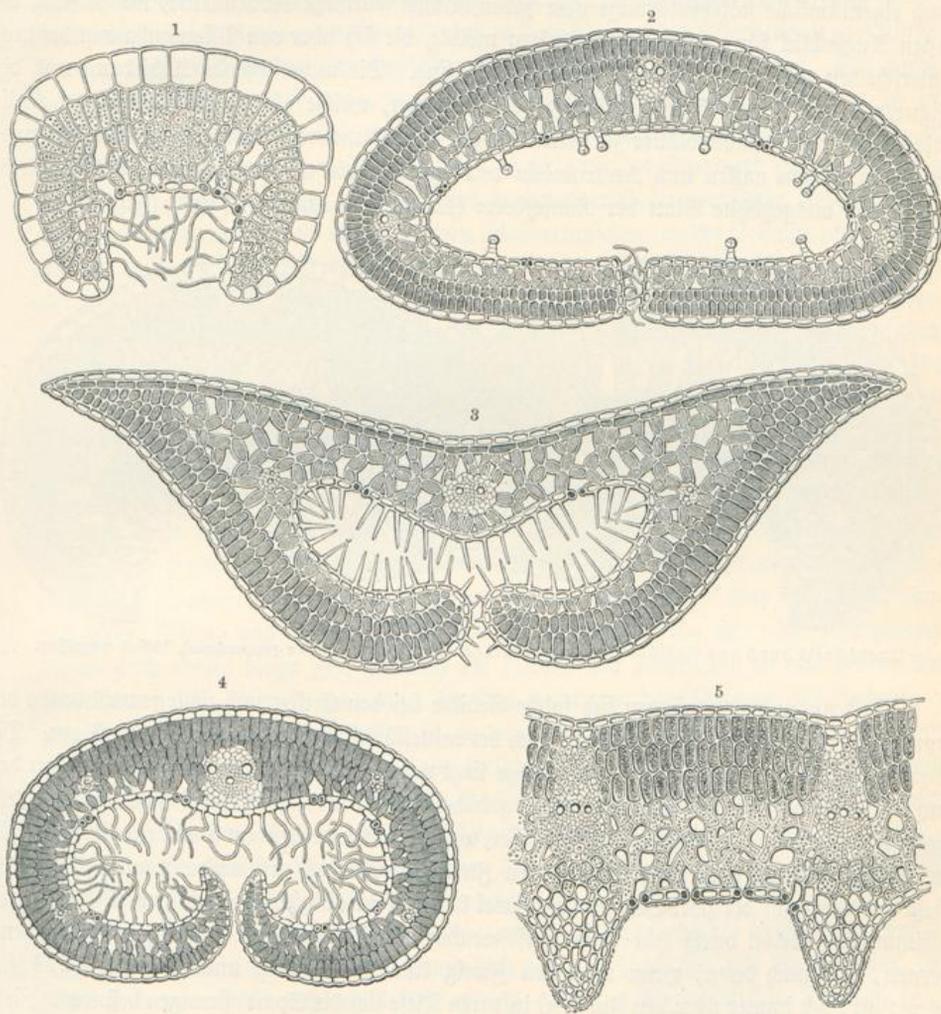
Nach Aquarell von Ernst Rejn.



Azaleenteppich auf den Höhen der Kjölen.

Nach Aquarell von Ernst Heyn.

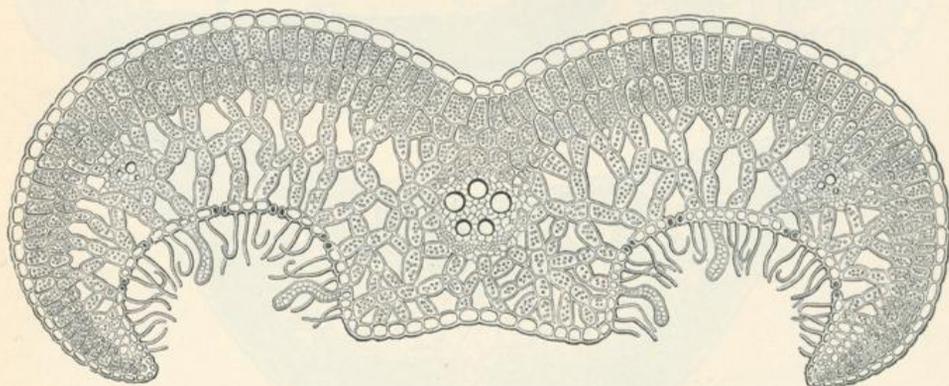
Mitunter springen im Mittelfeld an der unteren Seite des Rollblattes mehrere kräftige, netzförmig verbundene Rippen vor und rahmen kleine Gruben und Grübchen ein, in deren Tiefe die Spaltöffnungen liegen. Als Beispiel für diese Form ist unten, Fig. 5, ein Stück von dem Blatte der weitverbreiteten, netzaderigen Weide *Salix reticulata* abgebildet.



Querschnitte durch Rollblätter: 1 *Eria castra*, 280fach vergrößert; 2 *Empetrum nigrum*, 160fach vergrößert; 3 *Andromeda tetragona*, 150fach vergrößert; 4 *Tylanthus ericoides*, 130fach vergrößert; 5 *Salix reticulata*, 200fach vergrößert. (Zu S. 216—218.)

Ob schon alle diese Rollblätter den Eindruck des Festen und Starren machen und mitunter an die Nadelblätter der Koniferen erinnern, so sind sie doch im Gegensatz zu diesen im Inneren mit einem sehr lockeren Schwammparenchym ausgefüllt, das weit mehr Raum beansprucht als das unter der Oberhaut der oberen Seite liegende Palisadengewebe. Die Oberhaut der oberen Seite ist an allen Rollblättern leicht benehbar, häufig uneben, mit feinen Runzeln versehen, ohne Wachsüberzug und meist auch ohne Haare. Ihre Zellen sind nach außen zu gewöhnlich stark verdickt und schließen lückenlos zusammen. An der unteren Seite

ist das alles anders. Hier finden sich Spaltöffnungen in großer Menge, und die Oberhaut ist entweder mit Wachs überzogen, wie bei der Gränke, der Moosbeere und der negaderigen Weide (*Andromeda polifolia*, *Oxycoccus palustris* und *Salix reticulata*), oder mit feinem Filz bekleidet, wie bei dem Sumpfsorst (*Ledum palustre*). Sehr häufig finden sich hier auch eigentümliche stäbchenförmige oder fadenförmige Fortsätze der Kutikula, welche man im ersten Augenblick für winzige Haare halten möchte, die sich aber von Pflanzenhaaren dadurch unterscheiden, daß sie nicht hohl, sondern solid sind. Die untenstehende Abbildung und die Figuren 1 und 3 auf S. 217 zeigen diese Bildungen, welche als ein Seitenstück der Kutikularzapfen der Bambusblätter zu gelten haben, an der unteren Blattseite von *Azalea procumbens*, *Erica castra* und *Andromeda tetragona* sowie an den Rändern des Spaltes, der in das ausgehöhlte Blatt der Kauschbeere (*Empetrum nigrum*) führt (Fig. 2).



Duerchschnitt durch das Rollblatt der niederliegenden Azalea (*Azalea procumbens*), 140fach vergrößert.

Fast ausnahmslos finden sich solche Gebilde bei den Ericen und zwar sowohl denen der norddeutschen Moore und Heiden als auch der mittelländischen und kapländischen Flora. Die Bedeutung dieser unendlich zarten Überzüge liegt vorzüglich darin, daß an ihnen wie an den auf S. 210 und 211 besprochenen und abgebildeten Kutikularzapfen der Bambusblätter Luft anhaftet und zwar so innig, daß selbst Wasser, welches mit bedeutendem Druck einwirkt, sie nicht verdrängt. Taucht man einen belüfteten Zweig der *Azalea procumbens* unter Wasser, so sieht man entlang der zwei Längsfurchen zwei langgestreckte Luftblasen wie zwei Silberstreifen schimmern. Selbst durch Hin- und Herschwenken vermag man diese Luftblasen nicht zu entfernen, und auch dann, wenn man den Zweig eine Woche lang untergetaucht läßt, haftet diese Luft noch immer über den Furchen, in deren Tiefe sich die Spaltöffnungen befinden. Zieht man den Zweig wieder aus dem Wasser, so sieht man, daß zwar die Oberseite der Blätter benetzt, von den Spaltöffnungen der Unterseite aber das Wasser ferngehalten wurde. Und wie mit *Azalea procumbens*, so verhält es sich mit allen anderen Rollblättern, mögen sie einer Pflanze des Kaplandes oder einem Heidekraute der baltischen Tiefebene angehören.

Daß durch die Einrichtung der Rollblätter, wie sie soeben geschildert wurde, ein Schutz der Spaltöffnungen gegen Nässe vorhanden und der Weg für das dunstförmige Wasser und Gase freigehalten wird, kann wohl nicht bezweifelt werden. Es fragt sich nur, wie es kommt, daß diese Einrichtung an Pflanzen unter so entlegenen und zugleich klimatisch so abweichenden Himmelsstrichen angetroffen wird.

Um hierüber ins Klare zu kommen, versetzen wir uns in mehrere Landschaften, welche sich durch besonders häufiges Vorkommen von Pflanzen mit Rollblättern auszeichnen. Zunächst auf einen der hochgelegenen Rücken in den Zentralalpen, auf denen, verweht mit bleichen Flechten, die niederliegende Azalea den Boden in dichtem Schluß überzieht, wo *Erica carnea* in ausgedehnten Beständen weite Halden überkleidet, wo *Dryas octopetala*, *Salix reticulata*, *Homogyne discolor* und noch mehrere andere Pflanzen mit ausgesprochenen immergrünen Rollblättern ihre Teppiche über das steinige Erdreich weben. Der Boden, in dem alle diese Pflanzen wurzeln, und dem sie ihre flüssige Nahrung entnehmen, ist reich an Dammerde und hält nicht nur von dem Schmelzwasser der winterlichen Schneedecke, sondern auch von den reichlichen atmosphärischen Niederschlägen des Sommers große Mengen zurück. Wochenlang sind die Höhen in kalte, alles benetzende und durchnässende Nebel gehüllt, und an jedem Halm und jedem Blatte hängen Wassertropfen, welche so lange nicht verdampfen, als die Luft überreich mit Wasserdampf erfüllt ist. Endlich hellt sich einmal der Himmel auf, und das an den Pflanzen hängende Wasser beginnt sich zu verflüchtigen. Aber schon in der darauffolgenden hellen Nacht beschlagen sich alle Pflanzen infolge starker Ausstrahlung und Abkühlung wieder mit sehr reichlichem Tau, der sich nicht selten bis in die Mittagsstunden des nächsten Tages erhält. Im Sonnenschein, besonders wenn trockene Winde über die Höhe wehen, findet dann endlich Transpiration statt. Wer kann wissen, wie lange? Jeder Augenblick ist kostbar, und jede Hinderung der für die Pflanze so wichtigen Ausdünstung wäre von Nachteil. Besonders dürfen die Ausgänge für den Wasserdampf an der unteren Seite der Blätter nicht verlegt sein, und zu diesem Zweck ist die oben geschilderte Einrichtung getroffen. Es ist kaum daran zu zweifeln, daß die früher genannten Hochgebirgspflanzen in feuchten Perioden, wenn ununterbrochen dichte Nebel über den Gehängen lagern und Erde, Steine und Kräuter von Nässe triefen, wochenlang gar nicht transpirieren und darum auch ebenso lange Zeit hindurch die Zufuhr von Nährsalzen zu den grünen Blättern unterbrochen ist. Bedenkt man nun, wie kurz überhaupt den Pflanzen des Hochgebirges die Zeit zu ihrer Jahresarbeit bemessen ist, so wird es auch begreiflich, wie hier die kräftigsten Förderungsmittel der Transpiration zur Geltung kommen müssen, und wie alles möglichst hintangehalten sein soll, was diesen für die Pflanzen so wichtigen Vorgang unterdrücken oder auch nur beschränken könnte. Wenige Monate, nachdem der letzte Schnee von den Höhen gewichen, fällt ohnedies schon wieder neuer Schnee, der dann während des langen Winters Ernährung und Wachstum gänzlich unterbricht.

Aus diesen klimatischen Verhältnissen erklärt sich aber auch die Erscheinung, daß so viele Pflanzen der alpinen Region, namentlich fast alle Gewächse mit Rollblättern, immergrün sind. Es ist dadurch der Vorteil erreicht, daß jeder Sonnenblick im Verlaufe der kurzen Vegetationszeit ausgenutzt werden kann, ja daß schon am ersten sonnigen Tage, nachdem der Winterschnee geschmolzen und der Boden nur einigermaßen erwärmt ist, die vom verfloßenen Jahre erhaltenen Blätter zu transpirieren und organische Stoffe zu bilden beginnen. Man könnte gegen diesen Erklärungsversuch zwar einwenden, daß in den Steppen die Vegetationszeit auch auf den kurzen Zeitraum von drei Monaten eingeschränkt ist, und daß doch gerade der Steppe die immergrünen Pflanzen mit Rollblättern vollständig fehlen. In der Steppe sind aber im Verlaufe der dreimonatigen Vegetationszeit die Feuchtigkeitsverhältnisse wesentlich andere als in der Hochgebirgsregion. Dort wird die Transpiration niemals durch übermäßige Feuchtigkeit zum zeitweiligen Stillstehen gebracht; die Blätter können

während der ganzen Vegetationszeit ununterbrochen transpirieren und haben ihre Jahresarbeit schon im Hochsommer abgeschlossen. Infolge der Trockenheit des Hochsommers vergilben und verdorren die Laubblätter lange vor Eintritt des Winters, und von grünen Blättern, welche sich den Winter hindurch bis zur nächsten Vegetationszeit funktionsfähig zu erhalten vermöchten, ist auf der Steppe keine Spur zu sehen.

In den Niederungen hochnordischer Gegenden findet sich bekanntlich ein Teil der Gewächse wieder, welche die Hochgebirge der südlicher gelegenen Gelände schmücken. Über den Boden der arktischen Landschaft schreitend, berührt unser Fuß dieselben Teppiche der niederliegenden Azalea, der Zwergweide und Silberwurz (*Azalea procumbens*, *Salix reticulata*, *Dryas octopetala*). Dazu kommen noch andere kleine, wintergrüne Pflanzen, wie z. B. *Cassiope tetragona*, die gleichfalls mit Kollblättern ausgestattet sind. Wäre es nicht aus den Aufzeichnungen der Nordpolfahrer bekannt, daß im arktischen Gebiete die Zahl der die Transpiration behindernden nebeligen Tage im Verlaufe des kurzen Sommers noch viel größer ist als in den südlicher gelegenen Hochgebirgen, und daß daher auch dort nicht eine Beschränkung, sondern eine Förderung der Transpiration und die möglichste Ausnutzung der kurzen Zeiträume, in denen eine Hebung der Nährsalze aus dem Boden möglich ist, zur Notwendigkeit wird, so könnte schon aus dem häufigen Vorkommen dieser kleinen, teppichbildenden, mit immergrünen Kollblättern ausgestatteten Pflanzen darauf geschlossen werden. Abgesehen von anderen Ursachen, namentlich von der geschichtlichen Entwicklung der verschiedenen Florengebiete, liegt in der oben gegebenen Deutung des immergrünen Kollblattes auch eine Erklärung der Ähnlichkeit und teilweisen Übereinstimmung der arktischen Flora mit der Flora der genannten Hochgebirge.

Und nun hinab auf das Tiefland, längs der Nord- und Ostsee und auf die Niederungen, welche dem Nordfuße der Alpen vorgelagert sind. Wo nicht der Mensch den Boden in Ackerland umgestaltet hat: Moor und Heide, Heide und Moor in ermüdender Eintönigkeit. Zumal in den Mooren immer und immer dieselben Gewächse, unterschiedliches Heidekraut (*Calluna vulgaris*, *Erica Tetralix*, *Erica cinerea*), Rauschbeere (*Empetrum nigrum*), Moosbeere (*Oxycoccus palustris*), Gränke (*Andromeda polifolia*), Sumpfsporst (*Ledum palustre*), durchweg Pflanzen mit immergrünen Kollblättern, wie im Hochgebirge. Einige dieser kleinen immergrünen Sträucher, nämlich die Rauschbeere und das Besenheidekraut (*Calluna vulgaris*), lassen sich auch in ununterbrochenem Zuge von der Ebene bis hinauf zur Höhe von 2450 m auf die Kämme der Alpen verfolgen. Und merkwürdig, diese Pflanzen blühen im Tieflande nicht viel früher als hoch oben in der alpinen Region, ja für *Calluna* ist es sogar nachgewiesen, daß sie in der Höhe von 2000 m etwas zeitiger aufblüht als im nördlichen Teile des deutschen Tieflandes. Wie kommt das? Im Tieflande ist doch der Winterschnee längst verschwunden, wenn dort oben die Galden noch in die weiße, kalte Decke gehüllt sind. Der Winterschnee allerdings, nicht aber der Winter! Wenn ringsum schon alles blüht, wenn an den Roggenhalmen schon die Ähren sichtbar werden, ist das Moor nebenan noch öde und ohne Leben. Erst einen Monat später regt es sich auch auf dem kalten Moor, und die Wurzeln der mit immergrünen Kollblättern ausgestatteten Pflanzen entfalten ihre Tätigkeit. Wenn die warmen Tage des Hochsommers kommen und die Sonne ihre kräftigen Strahlen herabsendet, dann nimmt die Temperatur des Bodens rasch zu und erhöht sich sogar weit mehr, als man glauben möchte. Die feuchten Polster des Torfmooses fühlen sich mittags ganz warm an; das Thermometer, an einem

wolkenlosen Sommertage (22. Juni) in die oberste, moosige Schicht eines Hochmoores 3 cm tief eingesenkt, zeigte bei einer gleichzeitigen Schattentemperatur der Luft von 13° eine Temperatur von 31° C. Ein unbehaglicher Dunst entsteigt dem feuchten Boden, lagert über der Fläche und macht eine Wanderung über die Moorheide höchst unerquicklich. Kaum ist die Sonne glühendrot unter den Horizont hinabgesunken, so verdichtet sich dieser Dunst zu Nebelstreifen, welche über dem düsteren Moore lagern; Halme, Zweige und Blätter beschlagen sich mit Wassertropfen, und am nächsten Morgen ist alles so durchnäßt, als ob es die ganze Nacht hindurch geregnet hätte. Dieses Spiel, das sich bei hellem Wetter regelmäßig wiederholt, wird nur dann unterbrochen, wenn feuchter Wind vom Meere her über die Fläche streicht, Wolkenmassen über die Heide jagen und reichlicher Regen den Boden nezt. Daß unter solchen Verhältnissen eine ausgiebige und ununterbrochene Ausdünstung der Pflanzen unmöglich ist, daß in den kurzen Zeiträumen, welche der Transpiration der Blätter gegönnt sind, die Ausführungsgänge aus dem weitmaschigen Schwammparenchym nicht verschlossen sein dürfen, bedarf wohl keiner weiteren Ausführung, und es braucht auch nicht nochmals begründet zu werden, daß das immergrüne Kollblatt für diese Verhältnisse die entsprechendste und vorteilhafteste Blattform ist.

Nicht mit Unrecht wird von den Laien die kapländische Flora mit jener der norddeutschen Niederung verglichen. Unzählige niedere Büsche, die dem Heidekraut, dem Sumpfporst und der Rauschbeere täuschend ähnlich sehen, alle mit immergrünen, starren, an den Rändern zurückgerollten, ganzrandigen, kleinen Blättern; die Oberseite des Laubes meist von düsterem Grün, die Unterseite wieder mit denselben Einrichtungen, wie sie die Kollblätter der Pflanzen auf der Moorheide an der Ostsee und auf den kalten Gründen der arktischen Tundra zeigen. Zum Teil gehört dieses immergrüne Buschwerk sogar denselben Familien an. Zumal die Eriken sind am Kap in überschwenglicher Mannigfaltigkeit vertreten, indem man deren über 400 Arten zählt, also weit mehr, als die ganze andere Welt zusammengenommen aufweist. Aber auch eine große Menge von Arten aus anderen Familien, namentlich Rhamnazeen, Proteazeen, Epakridazeen, Santalazeen, weisen ein ganz ähnliches Laub auf und sind ohne Blüten und Früchte von den Eriken oft kaum zu unterscheiden. Es ist diese niedere, immergrüne Buschvegetation nicht über das ganze Kapland verbreitet, sondern auf die Nähe der Küste und auch da nur auf die nach Südwesten terrassenförmig abfallenden Gelände und auf den steil über die Kapstadt sich erhebenden berühmten Tafelberg beschränkt. Gerade über diesen Landschaften verdichtet sich aber der von den Seewinden mitgebrachte Wasserdampf, und fünf Monate hindurch, von Mai bis Anfang Oktober, wird nicht nur der Boden durch reichlichen Regen benetzt, sondern, was vielleicht noch wichtiger ist, alle die immergrünen Büsche sind dann durch den niedergeschlagenen Wasserdampf feucht und triefen oft geradezu vom Wasser wie das Heidekraut auf dem Moorboden der deutschen Niederung. Der Tafelberg ist zudem auch noch dann, wenn die Entwicklung der Vegetation auf den tieferen Terrassen des südwestlichen Küstengebietes wegen zunehmender Trockenheit stillsteht, in die berühmte, unter dem Namen „Tafeltuch“ bekannte Wolkenbank gehüllt, und die auf seinen oberen Stufen und Rämmen wachsenden Pflanzen sind während dieser Zeit nicht weniger durchnäßt als die niederliegende Azalea auf einem Berggrücken der Zentralalpen, auf welchem der Südwind seiner Feuchtigkeit beraubt wird. Gerade in diese feuchte Periode fällt aber der Zuwachs der in Frage stehenden Gewächse. Auf der Höhe des Tafelberges blühen und treiben die meisten Pflanzen im Februar, März und April, auf den tieferen Terrassen vom Mai bis

in den September. Während in den nördlichen Gegenden und im Hochgebirge das Ende der jährlichen Arbeit der Pflanzen mit dem Eintritt der Kälte zusammenhängt, ist es im Kaplande die Trockenheit des Bodens, welche durch längere Zeit die Vegetation zum Stillstande bringt, die aber hier im Küstengebiete doch niemals so extrem wird, daß die Pflanzen, so wie in der Steppe, dem Verdorren ausgesetzt wären.

Und ähnlich wie an der Südwestküste des Kaplandes verhält es sich auch an den Küsten, welche das Mitteländische Meer umranden, und in den Landstrichen, die im Westen Europas von den dunstbeladen über die Atlantik herkommenden Seewinden bestrichen werden. Die Flora von Portugal und die des südwestlichen Frankreich sind durch eine Fülle von niederen Büschen mit immergrünen Kollblättern, namentlich durch mehrere gefellig wachsende Eriken, ausgezeichnet. Auch hier findet der jährliche Zuwachs in der feuchtesten Zeit des Jahres statt, und es muß vorgesorgt sein, daß in dieser Periode die Bildung organischer Substanz, die Aufnahme von Nährsalzen aus dem Boden und insofern die Transpiration ununterbrochen und ungehindert vonstatten gehen kann. Auch hier endet mit dem Eintritt der Trockenheit die Tätigkeit der Saugwurzeln, und auch hier ist die immergrüne Vegetation vom Küstenfaume weg genau so weit verbreitet, als sich der feuchte Seewind geltend macht.

Der Schutz gegen die Gefahren übermäßiger Transpiration.

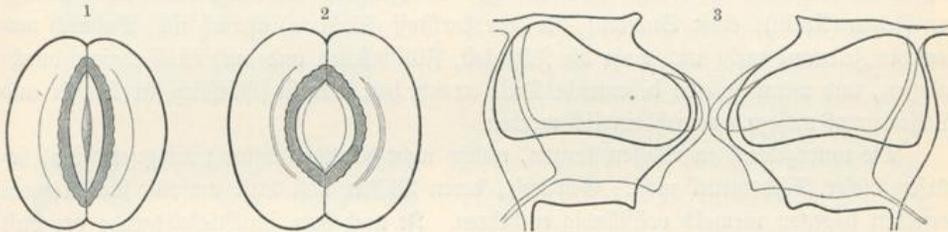
Die Transpiration, die Verdunstung des von den Wurzeln aufgenommenen Wassers durch die Blätter, ist für die Existenz der Pflanze notwendig; aber es leuchtet ein, daß dieser Vorgang auch ihre Existenz bedrohen könnte, wenn er die gewöhnliche Grenze überschritte. Das könnte leicht eintreten, wenn die Wasserzufuhr durch die Wurzeln einmal aussetzte oder ganz aufhörte, denn unter diesen Umständen würden die Blätter nicht aufhören, fortdauernd Wasser zu verdunsten, und bei ausbleibendem Nachschub müßten sie langsam vertrocknen. Schneidet man einen belaubten Zweig ab und stellt ihn in ein trockenes Glas, so beginnen, wie allgemein bekannt ist, nach einiger Zeit die Blätter in Folge des Wasserverlustes schlaff zu werden, auch die Stengelspitze neigt sich, die Pflanze verliert vollständig ihre Form, sie welkt, wie man sagt. Hier ist durch Trennung des Sprosses von der Wurzel die Wasserzufuhr unterbrochen. Aber auch eine unverletzte Pflanze kann dieselbe Erscheinung des Welkens zeigen, wenn ihr Boden längere Zeit kein Wasser empfängt. Da in manchen Klimaten die Durchfeuchtung des Bodens zu bestimmten Jahreszeiten ziemlich regelmäßig unter das für die Pflanzen notwendige Maß heruntergeht, so ist es begreiflich, daß überhaupt alle Pflanzen Einrichtungen besitzen, die Transpiration zu regeln, und daß viele noch mit weiteren Schutzmaßnahmen gegen die Vertrocknung versehen sind.

Die Regelung der Transpiration erfolgt durch die Spaltöffnungen, der Schutz vor übermäßiger Verdunstung durch entsprechende Ausbildung der Oberhaut oder durch Gestalt und Lage der verdunstenden Blätter und Zweige.

Zunächst betrachten wir die Spaltöffnungen. Diese müssen zu der Zeit, wenn das grüne Gewebe bei der Bildung organischer Substanzen Nährsalze aus dem Boden nötig hat, offen sein; alle Bedingungen, welche die Transpiration und damit die Hebung von wässriger Lösung aus dem reichlich durchfeuchteten Boden fördern, sind willkommen. Nimmt die Wärme und Trockenheit der Luft noch zu, nachdem das grüne Parenchym seine Arbeit beendet hat,

oder würde der Boden, dem die Saugzellen bisher den Bedarf an Flüssigkeit entnommen hatten, so sehr austrocknen, daß das Wasser, welches verdunstet, nicht mehr ersetzt werden könnte, so ist es Zeit, daß die Spaltöffnungen sich schließen. Das geschieht durch die beiden Zellen der Spaltöffnung, die man darum auch die Schließzellen genannt hat.

Um sich den Mechanismus des Schließens und des Öffnens der Spaltöffnungen klarzumachen, ist es notwendig, auf den Bau dieser Zellen etwas näher einzugehen. Beide Zellen sind im Umriss bohnenförmig oder halbmondförmig, wenden ihre konkave Seite der Spalte zu und sind nur an den Enden miteinander verwachsen (s. untenstehende Abbildung, Fig. 1 und 2). Mit der konvergen Seite grenzen sie an die benachbarten, meistens plattenförmigen Zellen der Oberhaut, mit der Außenwand an die atmosphärische Luft und mit der Innenwand an einen Interzellularraum zwischen Palisadenzellen und Schwammparenchym. An jeder Schließzelle ist das nach außen sowie das nach innen gefehrte Stück der Wand stark verdickt; jene Wand aber, durch welche die Schließzelle mit einer benachbarten Oberhautzelle



Zur Erklärung des Öffnens und Schließens der Spaltöffnungen (nach Schwendener). 1 und 2 stellen Spaltöffnungen im geschlossenen und offenen Zustande von oben gesehen dar. Die schraffierten Teile sind die Kutikularleisten, welche bei der offenen Spalte stark gebogen werden und beim Verfluß in Wirkung treten, indem sie ihre Form wieder annehmen. 3 zeigt den Durchschnitt einer Spaltöffnung im geschlossenen und offenen Zustand übereinander gezeichnet, um die Änderung der Form bei ihren Bewegungen zu zeigen.

in Verbindung steht, sowie auch das Wandstück, welches unmittelbar an die Spaltöffnung angrenzt, sind dünn und auch elastisch dehnbar. Wenn die Schließzellen sich zuzeiten reichlich mit Wasser füllen, so ändert sich die Krümmung jener Wandstücke, welche dünn und elastisch sind, am meisten die Wand, welche seitlich an die anderen Oberhautzellen angrenzt. Sie baucht sich aus, zugleich wird die ganze Zelle in der Richtung nach außen und innen ausgeweitet, und es rücken dadurch die beiden Schließzellen auseinander (Fig. 3). Werden dagegen die Schließzellen zu anderen Zeiten wasserärmer, so sinken sie wieder zusammen, die beiden den Spalt begrenzenden Wandstücke rücken gegeneinander vor und schließen die Öffnung. Die Schwellung der Schließzellen erfolgt durch Aufnahme von Wasser aus den benachbarten Hautzellen, und umgekehrt geht bei der Abschwellung wieder Flüssigkeit in diese Hautzellen über, ein Vorgang, den man als Turgeszenzänderung bezeichnet. Bei dem Schließen wirken auch die an der Außenseite und Innenseite der Schließzellen gebildeten Kutikularleisten mit, indem sie bei der Schwellung der Schließzellen gehoben und gebogen werden und nun wie gespannte Federn wirken, die die Schließzellen zusammenzudrücken streben. Sinkt in den Schließzellen der Turgor, dann treten diese Federn in Tätigkeit und schließen die Spalte. So ist dieser Mechanismus ein ausgezeichneter Regulator der Transpiration, ein Schutzmittel gegen zu weitgehende Ausdünstung.

Dieser Verfluß des Blattinneren, so wichtig er ist, wird aber für sich allein nicht immer jede drohende Gefahr abwenden können. Ist die Haut, welche über die dünnwandigen

verdunstenden Zellen des Schwammparenchyms gespannt ist, selbst dünnwandig und saftreich, so kann ja auch von ihr an die trockene Atmosphäre Wasser abgegeben werden. Zunächst würde der Wasserverlust der Hautzellen aus den angrenzenden Parenchymzellen im Inneren des Blattes ersetzt werden, aber schließlich würden die Laubblätter bei fehlendem oder ungenügendem Nachschub von Wasser aus den Wurzeln vertrocknen. Es müssen daher besonders die Oberhautzellen gegen Verdunstung geschützt sein. Wenn sie das sind, und wenn sich zugleich die Spaltöffnungen geschlossen haben, sind damit auch das Assimilationsparenchym und alle von der Haut umschlossenen saftreichen Zellen im Inneren des Blattes gegen die Gefahren einer übermäßigen Transpiration gesichert.

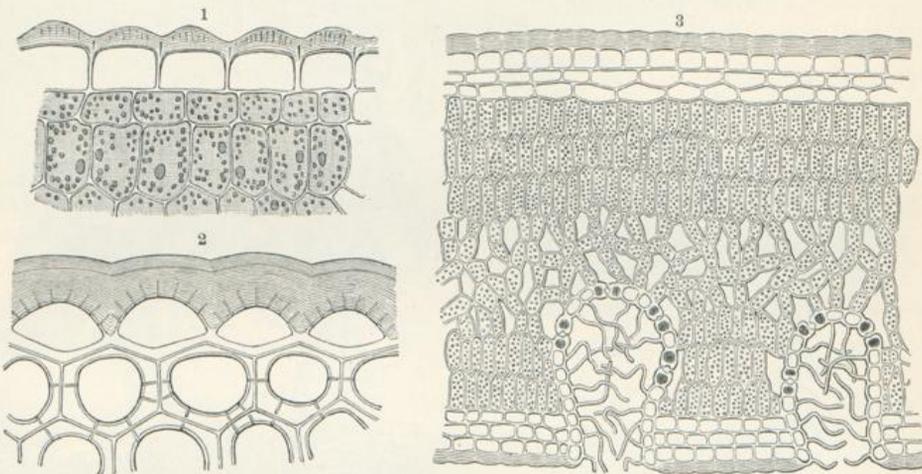
In der Jugend der Blätter sind die Wände der Hautzellen vorwiegend aus Zellstoff (Zellulose) gebildet und nach allen Seiten hin gleichmäßig zart und dünn. Später aber verdickt sich ihre Wand, welche nach außen zu an die Luft grenzt, und gliedert sich in eine innere und eine äußere Schicht. Die innere behält noch die ursprünglichen Eigenschaften; die äußere aber erfährt eine wichtige Veränderung. Der Zellstoff wird ersetzt durch ein Gemenge von Fetten (Kutin), einer Substanz, die dem Korkstoff (Suberin) ähnlich ist. Dadurch verliert die Zellwand mehr und mehr die Fähigkeit, Flüssigkeiten und auch Wasserdampf durchzulassen, und wenn sie eine bedeutende Dicke erreicht hat, kann sie schließlich für Wasser und Wasserdampf nahezu undurchdringlich werden.

Die untergetauchten Wasserpflanzen, welche nicht der Verdunstung ausgesetzt sind, bedürfen dieser Schutzmittel nicht. Gewächse, deren Blätter von Luft umspült sind, können derselben dagegen niemals vollständig entbehren. Je nach dem Feuchtigkeitsgrade der Luft ist nun aber die Dicke dieser Kutikularschichten außerordentlich wechselnd. Dort, wo die Luft das ganze Jahr über sehr feucht ist, erscheint in den Blättern die Außenwand der Hautzellen nur wenig dicker als die Innenwand, und es bildet die Kutikula nur eine ungemein dünne Schicht, die alle Hautzellen überzieht. Dagegen zeigen Gewächse, welche zeitweilig trockener Luft ausgesetzt sind, sehr entwickelte Kutikularschichten. Namentlich dann, wenn die Blätter immergrün sind und mehrere Jahre an den Zweigen bleiben, wie z. B. an der Stechpalme und dem Oleander (*Nex Aquifolium* und *Nerium Oleander*, s. Abbildung, S. 225, Fig. 2 und 3), sind die Kutikularschichten mächtig entwickelt, wobei die Außenwand der Hautzellen die Innenwand um das Vielfache an Dicke übertrifft. Auch die immergrünen Schmarogerpflanzen, wie z. B. die Mistel (Fig. 1), dann jene tropischen Orchideen und Bromeliaceen, welche auf der Borke von Bäumen wachsen und in der heißen Jahresperiode oft großer Trockenheit ausgesetzt sind, weiterhin die Kakteen und überhaupt die meisten Fetzpflanzen besitzen sehr stark verdickte und kutikularisierte Außenwände ihrer Hautzellen. Ebenso auch die Nadelhölzer mit immergrünen nadelförmigen Blättern, da die Wasserzufuhr im Winter bei der Bodenkälte und der durch Schneebildung erzeugten Lufttrockenheit sich sehr ungünstig gestaltet. Daß auch die Mangroven starre Blätter mit dickem Wassergewebe besitzen, obwohl sie in der feuchten Strandregion ihre Standorte haben, wird gleichfalls aus der Notwendigkeit einer Beschränkung ihrer Transpiration erklärt. Diese Bäume wurzeln bekanntlich in salzigem und brackigem Wasser an Küstenjäumen der tropischen Meere. Ein starker Transpirationsstrom würde eine große Menge von Salzen in das Gewebe der Blätter bringen, und bei ausgiebiger Transpiration müßte dort der Zellsaft einen Konzentrationsgrad erreichen, der für die Aufgabe der grünen Blätter nichts weniger als vorteilhaft wäre.

In der Regel sind Kutikula und Kutikularschichten in gleicher Dicke über die ganze

Blattfläche ausgebreitet, wie das namentlich bei glatten, glänzenden, lederigen, immergrünen Blättern der Fall ist. Nicht selten findet aber auch eine ungleichmäßige Verdickung statt, zumal in der Umgebung der Spaltöffnungen, wo sich wallartige Kingleisten erheben, wie bei *Protea mellifera* (s. Abbildung, S. 212, Fig. 3), oder wo sich zapfenförmige Vorsprünge ausbilden, wie bei den Bambusarten (s. Abbildung, S. 211), oder wo haarähnliche, verlängerte Fäden entstehen, wie bei den Kollblättern der *Azalea* und vieler Eriken (s. Abbildungen, S. 217 und 218).

Es wäre übrigens irrig, zu glauben, daß die Ausbildung einer dicken Kutikula an den Hautzellen eine Eigentümlichkeit immergrüner Blätter sei. Pflanzen, die jahraus jahrein von feuchter Atmosphäre umgeben und der Gefahr einer unverhältnismäßig großen Verdunstung



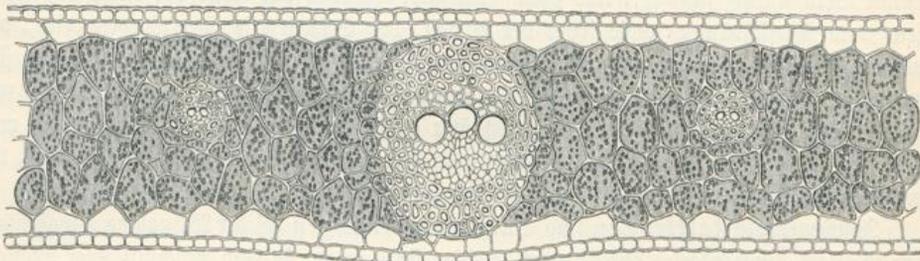
Verdicke, geschichtete Kutikula: 1 Querschnitt durch ein Blattstück der Mistel (*Viscum album*), 420fach vergrößert; 2 Querschnitt durch ein Blattstück der Stechpalme (*Ilex Aquifolium*), 500fach vergrößert; 3 Querschnitt durch das Blatt des Oleanders (*Nerium Oleander*), 320fach vergrößert. (Zu S. 212 u. 224.)

an ihren natürlichen Standorten niemals ausgesetzt sind, haben sehr häufig immergrüne Blätter und besitzen dennoch Hautzellen, deren Außenwand nicht dicker oder kaum dicker ist als die Innenwand, und umgekehrt zeigen Gewächse mit anscheinend zartem, dünnem, sommergrünem Laube recht ansehnliche Verdickungsschichten. Für die Kultur der Pflanzen ist die Kenntnis dieser Verhältnisse von größter Wichtigkeit, und die Gärtner wissen recht gut, daß sie manche Pflanzen, wenn sie auch noch so widerstandsfähig aussehen, der feuchten Atmosphäre der Gewächshäuser niemals entziehen dürfen, weil die Blätter sonst geradezu vertrocknen wie jene der Wasserpflanzen, die man aus dem Wasser gezogen und an die Luft gelegt hat. Von *Caryota propinqua*, einer Palmenart, welche die Abbildung auf S. 226 an ihrem natürlichen Standorte wachsend darstellt, wurde in der feuchten Luft eines Gewächshauses im Wiener Botanischen Garten ein prächtiger Stamm mit großen schönen Blättern kultiviert; derselbe wurde an einem Sommertag, an dem sich die Temperatur im Freien von der Temperatur des Gewächshauses nicht unterschied, mitsamt dem Kübel, in dem er wurzelte, ins Freie, und zwar an eine halbschattige, dem Sonnenbrande durchaus nicht ausgesetzte Stelle übertragen. Nachdem aber am anderen Tage nur ganz kurze Zeit ein warmer, trockener Ostwind über die Blätter geweht hatte, bräunten sich diese, und am Abend waren



Caryota propinqua. (Su E. 225.)

die Blätter verdorrt und abgestorben. Und doch sehen die Abschnitte der Blätter dieser Palme straff, lederig und trocken aus, und man möchte glauben, daß sie gegen das Vertrocknen ausgezeichnet geschützt seien. Der Durchschnitt eines Blattstückes, welchen die untenstehende Abbildung darstellt, belehrt uns freilich eines Besseren. Er zeigt, daß die Oberhautzellen zwar sehr klein sind, wodurch die Festigkeit des Blattes wesentlich erhöht wird, daß ihre Wände aber keine Verdickung erfahren haben, sondern so dünn wie jene eines zarten Farnwedels geblieben sind. Unter den dünnwandigen kleinen Oberhautzellen liegen dann saftreiche große Zellen, welche dem sogenannten äußeren Wassergewebe angehören, und deren Wandungen gleichfalls die Verdunstung nicht beschränken, und dann folgen die großen saftreichen Zellen des grünen Gewebes. Bei dem Anblick dieses Blattquerschnittes wird es begreiflich, daß diese Palme wohl in ihre feucht-warme Heimat, wo sie einer starken Verdunstung niemals ausgesetzt ist, nicht aber in die trockene, wenn auch warme Luft eines kontinentalen Klimas paßt.



Querschnitt durch ein Stück des Blattes von *Caryota propinqua*, 260fach vergrößert.

Von den wachsartigen Auscheidungen der Zellhäute, die als abwischbare Überzüge beider Blattseiten erscheinen und diesen oft, statt des tiefen Grüns, eine matte bläuliche, graue oder weißliche Färbung erteilen, wurde schon früher erwähnt, daß ihnen eine wichtige Bedeutung als Schutzmittel der Oberhaut gegen Benetzung zukommt. Daß aber durch diese Überzüge auch die Transpiration herabgesetzt werden kann, ist begreiflich. Versuche haben ergeben, daß in dem gleichen Zeitraum und unter sonst gleichen Verhältnissen Blätter, von denen man den wachsartigen Überzug durch Abwischen sorgfältig entfernt hatte, beinahe ein Drittel mehr Wasser durch Ausdünstung verloren, als Blätter, auf denen der Wachsüberzug belassen wurde. Bei gewissen Schotengewächsen und Rutazeen der Steppen, bei zahlreichen Myrtazeen und Akazien Australiens, bei den meisten Nelken und Wolfsmilchgewächsen der mittelländischen Flora, bei den Sukkulenteen der Kanaren und noch bei zahlreichen anderen Pflanzen findet sich der Wachsüberzug gleichmäßig an beiden Seiten der Blätter. Es gibt aber auch sehr viele Arten, bei denen er nur an der unteren Blattseite ausgebildet wird. So z. B. sind die Laubblätter der Bruchweide, des Mandelbaumes, des Bergahorns und der kleinblättrigen Linde (*Salix fragilis*, *Amygdalus communis*, *A. Pseudoplatanus*, *Tilia parvifolia*) an der oberen Seite dunkelgrün und nur an der unteren Seite infolge des Wachsüberzuges bläulich gefärbt. Bei ruhiger Luft sind diese Blätter an den aufrechten Zweigen der genannten Bäume und Sträucher so eingestellt, daß ihre untere Seite der Erde zugewendet ist; der Anprall mäßiger Luftwellen genügt aber, um die Zweige gegen den Windschatten hinzubiegen und gleichzeitig die von biegsamen Stielen getragenen Blattspalten so zu wenden,

daß nicht mehr ihre obere, sondern die untere Seite der Sonne und der Hauptströmung des austrocknenden Windes zugekehrt ist. Auch in diesen Fällen verhindert demnach der Wachsüberzug ein für die betreffende Pflanze nachteiliges Übermaß der Verdunstung.

Daß die von Köpfschenhaaren und anderen drüsentragenden Gebilden ausgeschiedenen firnisartigen Überzüge der Haut, welche aus einem Gemenge von Schleim und Harz bestehen, die Transpiration zu beschränken imstande sind, wurde gleichfalls bei früherer Gelegenheit (S. 177 und 184) schon angedeutet. Diese Überzüge sind besonders bei vielen Pflanzen der Mittelmeerflora entwickelt, namentlich bei einer ganzen Reihe von strauchartigen Zistrosen (*Cistus laurifolius*, *populifolius*, *Clusii*, *ladaniferus*, *monspeliensis* usw.), und bei Staudenpflanzen, welche spät im trockenen Hochsommer zur Entwicklung kommen, wie z. B. der längs dem Meeresstrande häufigen *Inula viscosa*. Auch einige Steppen- und Präriepflanzen (z. B. *Centaurea Balsamita* der Hochsteppen Persiens und *Grindelia squarrosa* in den Prärien Nordamerikas) sind durch solche firnisähnliche Überzüge gegen eine zu weitgehende Verdunstung geschützt, und zwar zeitlebens, während das Laub der Kirschen-, Aprikosen- und Pfirsichbäume sowie jenes der Birken, der Schwarzerle, der Lorbeerweide, der Balsam- und Pyramidenpappel nur in der Jugend, wenn es eben erst aus den Knospen sich hervorgeedrängt hat und die Außenwände der Hautzellen noch nicht genügend verdickt sind, mit einem solchen Firnis überzogen erscheint, später aber, wenn die Kutikularschichten die entsprechende Ausbildung erlangt haben und nun selbst diesen Schutz übernehmen, den die Transpiration beschränkenden firnisartigen Überzug verliert.

Inwieweit die Kalkkrusten und Salzausscheidungen bei der Aufnahme atmosphärischen Wassers durch oberirdische Organe beteiligt sind, wurde in dem Abschnitt über Wasseraufnahme (S. 174—176) behandelt. Selbstverständlich vermögen diese Auflagerungen und Überzüge der Haut auch die Transpiration herabzusetzen. Die Kalkkrusten treten vorzüglich an Pflanzen, welche in den Spalten und Ritzen der Felsen wachsen, die Salzausscheidungen nur an Strand-, Steppen- und Wüstenpflanzen auf, aber stets bei niederen Sträuchern und Stauden mit schmalen, kleinen Blättern oder beschuppten Blattästen und bei Kräutern, welche mit ihrem Laube dem Boden anliegen. Das ist auch leicht begreiflich. Hohe Bäume könnten kaum die Last solcher mit Kalk- und Salzkrusten beschlagener Blätter tragen, selbst dann nicht, wenn ihren Stämmen und Ästen die denkbar größte Tragfähigkeit zukommen würde.

Man hat beobachtet, daß Pflanzen, welche mit Kalk- und Salzkrusten überzogene Blätter besitzen, oder an deren Hautzellen die Außenwand durch kutinisierte Schichten stark verdickt ist, fast immer kahl erscheinen, während umgekehrt Gewächse mit schwacher Außenwand der Hautzellen, wenn sie nicht das ganze Jahr in einer feuchten Atmosphäre oder im Wasser untergetaucht leben, mit haarähnlichen Gebilden besetzt sind. Schon diese gegenseitige Vertretung läßt darauf schließen, daß die Bekleidung mit Haaren das betreffende Blatt oder den betreffenden Stengel gerade so wie eine Verdickung mit Korkstoffschichten gegen Austrocknung zu schützen vermag. Allerdings darf man dabei nur an solche Pflanzenhaare denken, aus deren Zellen das Protoplasma geschwunden ist, und die dann saftlos und mit Luft erfüllt sind; denn jene Haargebilde, welche aus saftstrotzenden Zellen bestehen, würden gegen Verdunstung der unter der Oberhaut liegenden Gewebe nichts helfen; sie sind ja selbst schutzbedürftig, und es bestehen auch, wie bei Besprechung der Wasseraufnahme durch oberirdische Organe auseinandergesetzt wurde, für sie besondere Schutzvorrichtungen. Ungeschützt würden solche Gebilde Wasser an die umspülende Luft abgeben und dann fortwährend aus den anderen unter ihnen liegenden

Nachbarzellen Flüssigkeit nachsaugen. Bei luftgefüllten Zellen fällt diese Wirkung weg, und wenn sich ihre trockenen Membranen und die von diesen Membranen eingeschlossene Luft zwischen die trockene Atmosphäre und das saftreiche Pflanzengewebe einschalten, so wird das letztere gerade so gegen Verdunstung geschützt wie feuchte Erde, auf die man eine Decke aus trockenem Stroh oder aus Rohrhalmern gelegt hat.

Die Bedeutung luftgefüllter Zellen als Decke eines saftreichen Gewebes ist aber auch noch in anderer Beziehung zu würdigen. Bekanntlich wird die Verdunstung von der Oberfläche einer Flüssigkeit oder eines feuchten Körpers durch die Wärme der Sonnenstrahlen mächtig gefördert. Umgekehrt wird mit Beschränkung der Erwärmung auch die Verdunstung beschränkt. Indem wir einen trockenen Lappen als Schattendecke anwenden, setzen wir nicht nur die Temperatur, sondern auch die Verdunstung des beschatteten Körpers herab. Mit solchen trockenen Lappen lassen sich aber die luftgefüllten Haardichte an den Blättern vergleichen, und es läßt sich auch die ange deutete Wirkung durch folgende Versuche nachweisen. Wenn man an einem Himbeerstrauche, der zweifarbiges, oberseits haarloses, unterseits weißfilziges Laub besitzt, zwei in ihrer Größe ganz übereinstimmende, nebeneinander am Stengel entspringende Blätter als Hüllen von Thermometern benutzt, und zwar so, daß das Blatt, welches die Kugel des einen Thermometers deckt, die weißfilzige, das andere die grüne, haarlose Seite der Sonne zuwendet, und wenn man beide in die gleiche Lage zur Sonne einstellt, so erhöht sich die Temperatur an dem mit der grünen, kahlen Seite der Sonne zugekehrten Blatt innerhalb 5 Minuten um 2—5° über jene an dem Blatte, welches die weißfilzige Seite der Sonne zuwendet. Werden solche Blätter abgepflückt und einige derselben mit der weißfilzigen, andere mit der kahlen, grünen Seite nach oben gewendet der Besonnung ausgesetzt, so schrumpfen und vertrocknen die letzteren immer viel früher als die ersteren. Nicht weniger einflußreich ist auf die Verdunstung die bewegte Luft. Man pflegt feuchte Gegenstände, die rasch austrocknen sollen, dem Wind auszusetzen, und umgekehrt sucht man Dinge, welche feucht erhalten bleiben sollen, durch eine Decke vor dem austrocknenden Winde zu schützen. Nach alledem kann es wohl keinem Zweifel unterliegen, daß ein trockenes Haarkleid über einem den Sonnenstrahlen und dem Wind ausgesetzten saftreichen Pflanzengewebe die Verdunstung dieses Gewebes erheblich beschränkt.

Eine Abteilung der behaarten Pflanzenformen trägt Blätter, welche nur an der unteren Seite mit haarigen Überzügen versehen sind. In diesen Fällen könnte es scheinen, daß der Überzug das Vordringen von Masse zu den Spaltöffnungen zu verhindern hätte, aber als Schutzmittel gegen die Gefahren einer übermäßigen Transpiration bedeutungslos sei, weil ja an einem mehr oder weniger horizontal ausgebreiteten Blatte die untere Seite weniger als die obere den Sonnenstrahlen und den Winden ausgesetzt ist. Die Beobachtungen in der freien Natur lehren aber das Gegenteil. Es gehören in diese Abteilung vorwaltend Stauden, Sträucher und Bäume mit schlanken, elastisch-biegsamen Zweigen und niedere Gewächse, deren Blattspalten von aufrechten, biegungsfesten Stielen getragen werden. Ähnlich wie bei den früher besprochenen Blättern, die an der unteren Seite mit einem Wachstüberzuge versehen sind (vgl. S. 227), sieht auch bei den in Rede stehenden die untere Seite der Blattspalte nur bei ruhiger Luft der Erde zu; sobald die Luft in Bewegung versetzt wird, findet sofort eine Biegung und Krümmung der Zweige und Blattstiele und eine Wendung der Blattspalten statt, durch welche die untere behaarte Seite nach oben gekehrt wird. Der austrocknende Luftstrom gleitet dann über jene Blattseite, welche gegen

den zu weitgehenden Wasserverlust durch das Haarkleid geschützt ist. In vielen Fällen ist dieser Vorgang mit einem auffallenden Farbenspiele verbunden. Die Kronen der Silberpappel (*Populus alba*), das Buschwerk der Salweide, des Mehlbeerstrauches und der Himbeere (*Salix Caprea*, *Sorbus Aria* und *Rubus Idaeus*) zeigen bei schweigenden Winden einen düstergrünen Farbenton, weil die bei ruhiger Luft vorzüglich in die Augen fallende obere Seite der Blätter dunkelgrün gefärbt ist; plötzlich fährt ein Windstoß in das Laubwerk, die unteren weiß behaarten Blattseiten werden sichtbar, und wie mit einem Schlag erscheinen in den Kronen der genannten Bäume und Sträucher tausende weißer Flecke und Sprengel, die aber ebenso rasch wieder verschwinden, wenn der Anprall des Windes vorüber ist.

In seltenen Fällen werden die oberseits kahlen und unterseits behaarten Blätter nicht durch Wendung, sondern durch Einrollung ihrer Spreite gegen die Gefahren einer übermäßigen Verdunstung geschützt. Als Beispiel hierfür mag das weitverbreitete Habichtskraut *Hieracium Pilosella* dienen, dessen grundständige, dem Boden aufliegende, eine Rosette bildende Blätter oberseits grün, unterseits durch einen Sternhaarfilz weiß erscheinen. An Orten, wo das Erdreich leicht austrocknet, und zu Zeiten, wo atmosphärische Niederschläge längere Zeit ausbleiben, sieht man regelmäßig, wie sich zunächst die Blattränder aufbiegen, dann aber allmählich das ganze Blatt in der Weise sich krümmt und rollt, daß die untere weiße Seite den einfallenden Sonnenstrahlen zugewendet wird, und daß sich so der weiße Filz zu einem schützenden Schirme für das ganze Blatt gestaltet. Auch die oben beschriebenen Rollblätter bieten, während sie zuzeiten die Transpiration fördern können, einen Transpirationsschutz, indem sie sich bei Trockenheit mehr zusammenrollen und dadurch ihre Oberfläche verkleinern.

Hier ist wohl auch der in den Rigen der Felsen und Mauern im südlichen Europa wachsenden Farn (*Ceterach officinarum*, *Cheilanthes odora* und *Notochlaena Marantae*) zu gedenken, deren Wedel an der oberen Seite kahl, an der unteren Seite dicht mit trockenen haarförmigen Schuppen bekleidet sind. Bei trockenem Wetter erscheinen diese Wedel eingerollt, und dann ist nur die untere pelzige Seite der Sonne und dem Anpralle der trockenen Winde ausgesetzt.

Zahllos sind jene Pflanzenformen, deren Blätter sowohl an der unteren wie an der oberen Seite dicht behaart sind. Bei ihnen ist begreiflicherweise weder eine Wendung noch eine Einrollung der Blattspreite zum Schutze gegen die Gefahren des Austrocknens notwendig; dagegen treten an ihnen mannigfache andere Beziehungen des Haarkleides und der Transpiration zu den klimatischen Verhältnissen der verschiedenen Zonen und Regionen hervor, die hier eine kurze Darstellung finden sollen. Am auffallendsten sind diese Beziehungen in solchen Gebieten, wo die Pflanzen im Verlauf ihrer Vegetationszeit in der Regel nur auf einige Stunden des Tages einer trockeneren Luft ausgesetzt sind, und wo ihre Tätigkeit nicht durch eine lange warme Trockenperiode, sondern durch Frost und Kälte gehemmt wird, wie das vielfach in den Hochgebirgen der Fall ist. Auf den Alpen könnte das Vertrocknen der Samenpflanzen durch den Einfluß der Sonne nur an sehr beschränkten Stellen erfolgen, nämlich nur dort, wo die spärliche Erde auf den handbreiten Gefsimen der steil abstürzenden Klippen und Schroffen sowie der felsigen Grate und Rämme ausschließlich von Regen, Nebel und Tau getränkt wird. Wenn mehrere Tage hintereinander diese atmosphärischen Niederschläge ausbleiben und bei hellem Himmel Tag und Nacht der Föhn über die Höhen streicht, können diese dünnen Erdschichten so sehr austrocknen, daß

sie den in ihnen wurzelnden, kräftig besonnten und dem Anpralle des Windes ausgesetzten Pflanzen nicht mehr das nötige Wasser zu liefern imstande sind, und in solchen Zeiten ist dann auch eine Beschränkung der Transpiration aus den Blättern dringend geboten. Neben den Fettpflanzen und den mit Kalk inkrustierten Steinbrechen findet man an solchen Standorten fast ausnahmslos Gewächse mit allseitig dicht behaarten Blättern und Stengeln. Hier ist der Standort der filzigen Hungerblümchen (*Draba tomentosa* und *stellata*),



Das Edelweiß (*Gnaphalium Leontopodium*).

der graublätterigen Golbrauten (*Senecio incanus* und *Carniolicus*), des herrlichen, seidig glänzenden Fingerkrautes (*Potentilla nitida*), der weißblättrigen bitteren Schafgarbe (*Achillea Clavennae*), hier ist auch vor allem der Standort für die berühmtesten Pflanzen der Alpen, für die aromatische Edelraute und das schmutze Edelweiß, erstere (*Artemisia Mutellina*) ganz und gar in ein grau schimmerndes Seidenkleid, letzteres (*Gnaphalium Leontopodium*) in glanzlosen, weißen Filz gehüllt. Betrachtet man den Durchschnitt durch das Edelweißblatt (s. Abbildung, S. 236, Fig. 1), so gewinnt man die Überzeugung, daß die Hautzellen mit ihrer dünnen Außenwand der Verdunstung und Vertrocknung in der Sonne nicht widerstehen könnten, und daß durch die Auflagerung einer Schicht saftloser, luftgefüllter, verwobener

Haarzellen für den Fall außergewöhnlicher Trockenheit ein wichtiger Schutz gegeben ist. Die Edelraute, Goldraute und die anderen genannten Pflanzen der sonnigen Felsen in den Alpen zeigen dieselben Verhältnisse des Blattbaues, und es findet das soeben vom Edelweiß Gesagte auch auf sie volle Anwendung. Es verdient noch erwähnt zu werden, daß auf den Höhen der Pyrenäen, Abruzzen und Karpathen sowie im Kaukasus und Himalaja die Pflanzen der besonnten, dem Anprall der Winde ausgesetzten Felsklippen genau nach dem Vorbilde von Edelraute und Edelweiß in Seide und Wolle gekleidet sind, und daß im Himalaja ein Edelweiß vorkommt, das dem der europäischen Alpen außerordentlich ähnlich sieht. Im hohen Norden dagegen, dessen Flora doch sonst so manche Übereinstimmung mit der Flora der südlich gelegenen Hochgebirge zeigt, fehlt diese Pflanze. Man späht dort an den Felsklippen überhaupt vergeblich nach Kräutern und Stauden mit oberseits seidigem oder filzigem Laubwerk, und die Arten, welche an deren Stelle im arktischen Gebiete auftauchen und durch ihr massenhaftes Vorkommen einen charakteristischen Zug in der Pflanzendecke bilden, wie z. B. *Diapensia Lapponica*, *Andromeda hypnoides*, *Mertensia maritima*, *Draba alpina* und andere mehr, haben auffallenderweise kahle, grüne Blätter. Wenn dort haarige Überzüge vorkommen, so sind sie auf die unteren Blattseiten, namentlich auf jene der Rollblätter, beschränkt und finden sich durchaus nicht an den Pflanzen felsiger Gehänge, sondern an denen der moorigen, stets feuchten Gründe und an den Ufern der für kurze Zeit vom Eise befreiten Gewässer, wo sie aber gewiß nicht zur Herabsetzung der Transpiration, sondern in der oben bei Besprechung der Rollblätter erörterten Weise wirksam sind. Gewiß darf man diese Tatsachen mit den klimatischen Verhältnissen in Verbindung bringen und besonders den Mangel von Pflanzen mit oberseits seidigen oder filzigen Blättern daraus erklären, daß ein Austrocknen des Bodens und eine Beschränkung der Wasserzufuhr im arktischen Gebiete selbst auf den schmalen Terrassen steiler Felsgehänge niemals vorkommt und daher die Gefahr einer zu weitgehenden Verdunstung für die dort wachsenden Pflanzen auch nicht gegeben ist.

Mit dieser Erklärung steht auch im Einklange, daß auf den Höhen der mittel- und südeuropäischen Hochgebirge mit alpiner Vegetation die Zahl der Formen mit seidigem und filzigem Laub in dem Maße zunimmt, je weiter nach Süden diese Gebirge gelegen und je mehr dieselben zeitweiliger Trockenheit ausgesetzt sind. Dem Riesengebirge sind Pflanzen vom Typus des Edelweißes noch gänzlich fremd; in den nördlichen Alpen ist ihre Zahl verhältnismäßig noch gering, in den Südalpen ist sie auffallend größer, und ungemein reich an solchen Formen sind die Kämme der Sierra Nevada und die Hochgebirge Griechenlands.

Wenn schon auf den Alpenhöhen, wo doch die Trockenheit des Bodens im ungünstigsten Falle nur wenige Tage andauert und sich auch in diesem kurzen Zeitraume nur auf die sonnigen, felsigen Stellen mit dünner Erdrinde beschränkt, die an solchen Stellen wachsenden Pflanzen gegen die Gefahren einer zu raschen und zu ausgiebigen Verdunstung geschützt sind, um wieviel mehr in solchen Gebieten, wo mit zunehmender Sommerwärme die Menge atmosphärischer Niederschläge fortwährend abnimmt, und wo abseits von den Talsfurchen und Niederungen, deren Erdreich von zufließendem Wasser anderer Regionen genetzt wird, der Boden immer tiefer und tiefer austrocknet, so daß alle oberflächlich wurzelnden Pflanzen keinen Tropfen Wasser mehr aus ihm zu gewinnen vermögen. Alle Gewächse, welche auf solchem Lande die Trockenperiode überdauern wollen, müssen für die Dauer derselben die Transpiration gänzlich einstellen, sich förmlich einpuppen und einen Sommerschlaf halten. Sie tun das auch, und zwar in der verschiedensten Weise und mit den verschiedensten Mitteln.

Eins der verbreitetsten und gewöhnlichsten Mittel ist auch hier die Einkleidung der transpirierenden Organe in eine dichte Hülle von trockenen, luftgefüllten Haaren. Kapland, Australien, Mexiko, die Savannen und Prärien der Neuen Welt, die Steppen und Wüsten der Alten Welt bieten hierfür eine Fülle von Beispielen. In den trockenen Hochebenen von Brasilien, Quito und Mexiko sind Strecken von großer Ausdehnung mit gesellig wachsenden wolfsmilchartigen Gewächsen, den grau behaarten Croton-Arten, überdeckt, und wenn der Wind über die Hochflächen weht und diese Croton-Stauden hin und her schwenkt, entsteht eine Bewegung auf dem weiten Gelände, daß es aussieht wie ein graues, wogendes Blättermeer. Ein ähnliches Bild bieten die zu den Korbblütlern gehörenden *Painciras* oder Wollstauden (*Lychnophora*) auf den Hochebenen von Minas Geraes in Brasilien. Auch auf den Paramos Venezuelas, den durch Winde ausgetrockneten Hochebenen, findet sich eine ganz charakteristische Vegetation behaarter Pflanzen, besonders der Gattung *Espeletia*.

In uns näher gelegenen Gegenden findet man nirgends die Behaarung des Laubes als Schutzmittel gegen Verdunstung in so ausgiebiger und mannigfaltiger Weise verbreitet wie in dem mittelländischen oder mediterranen Florengebiete, das die Küstenländer des Mittelmeeres umfaßt. Die Bäume haben grauhaariges Laub, das niedere Buschwerk aus Salbei und verschiedenen anderen Sträuchern und Halbsträuchern, für das man die schon von Theophrast gebrauchte Bezeichnung Phrygana-Gestrüpp festgehalten hat, sowie die ausdauernden Stauden und Kräuter an sonnigen Hügeln und Berglehnen sind grau und weiß, und dieses Überwiegen von Pflanzen von gedämpfter Farbe hat schließlich sogar auf den Charakter der ganzen Landschaft einen merkbaren Einfluß. Wer nur aus Büchern von der immergrünen Vegetation der spanischen, italienischen und griechischen Flora gehört hat und zum erstenmal jene Gebiete im Sommer betritt, fühlt sich bei dem Anblicke dieser grauen Pflanzenwelt einigermaßen enttäuscht und ist versucht, den Ausdruck „immergrün“ in „immergrau“ zu verändern. Alle erdenklichen Haarbildungen sind da vertreten. Grober Filz, dichter Samt, weiche Wolle wechseln in bunter Mannigfaltigkeit ab; hier ist ein Blatt wie mit Spinnweben überzogen, dort ein anderes wie mit Asche oder Kleie bestreut, hier schimmert eine Blattfläche von anliegenden Härchen oder Schülfern wie ein Stück Atlasstoff, und hier wieder ist eine Pflanze mit langen Flocken besetzt, daß man glauben könnte, es haben vorbeistreichende Schafe einen Teil ihres Wliefes hängen lassen. Es gibt im mittelländischen Florengebiete kaum eine Pflanzenfamilie, aus der nicht reichlich behaarte Arten bekannt wären; ganz vorzüglich aber tragen die Korbblütler, zumal die Gattungen *Andryala*, *Artemisia*, *Evax*, *Filago*, *Inula*, *Santolina*, dann Lippenblütler aus den Gattungen *Phlomis*, *Salvia*, *Tenarium*, *Marrubium*, *Stachys*, *Sideritis* und *Lavandula*, *Zistrosen*, *Winden*, *Skabiosen*, *Wegeriche*, *Schmetterlingsblütler* und *seidelbastartige Gewächse*, also gerade diejenigen Formen, welche die Hauptmasse der Vegetationsdecke in den Küstenlandscapten des Mittelmeeres ausmachen, ein dicht gewobenes Haarleid. Ja, selbst in Familien, deren Arten man sich gewöhnlich kahl denkt, wie z. B. in der Familie der Gräser, trifft man hier ganz zottig aussehende Vertreter.

Nächst der Mittelmeerflora weisen wohl auch die benachbarten ägyptisch-arabischen Wüstengebiete, die Hochsteppen Irans und Kurdistans, das Tiefland Südrusslands und die Pustten Ungarns verhältnismäßig viele Pflanzenarten mit beiderseits dicht behaarten Blättern auf. Daß ihre Zahl hinter jener der Mittelmeerflora zurückbleibt, hat seinen Grund darin, daß in den Wüsten- und Steppenländern die Dürre des Hochsommers noch größer ist, so daß selbst dichte Haarüberzüge nicht immer gegen sie zu schützen vermögen, und zweitens, daß in

einigen der genannten Gebiete die Trockenperiode unvermittelt in einen strengen Winter übergeht, gegen dessen Kälte die Behaarung einen schlechten Schutz gewährt, während in den Küstenlandschaften des Mittelmeeres die Temperatur des Winters kaum unter den Gefrierpunkt herabsinkt, immergrüne und immergraue Blätter dort unbehelligt bleiben und mit Beginn des nächsten Jahres ihre Tätigkeit wieder aufnehmen können.

Sehr lehrreich für die Beziehungen ganzer Florengebiete zur Transpiration der Pflanzen ist auch die regelmäßige Aufeinanderfolge der Entwicklung bestimmter Pflanzenformen. In den Steppen, in den Mittelmeerlandschaften und im Kaplande kommen regelmäßig zuerst die Zwiebelpflanzen und die einjährigen Gewächse an die Reihe, dann folgen die ausdauernden Gräser und die Holzpflanzen, und den Schluß bilden Fettpflanzen und dicht behaarte Immortellen. Die zahlreichen Tulpen, Narzissen, Milchsterne, Aphydile, Krokus, Amaryllis und alle die anderen Zwiebelgewächse, welche sofort nach dem ersten Winter- oder Frühlingsregen hervorzusprießen beginnen, besitzen durchweg kahles Laub. Die Transpiration derselben ist bei der rasch steigenden Lufttemperatur sehr lebhaft, der durchfeuchtete Boden liefert genügenden Ersatz für das verdunstende Wasser und enthält auch die zum raschen Wachstum nötigen Mengen von Nährsalzen in aufgeschlossenem Zustande. Auch die gleichzeitig hervorsprossenden Stauden, die Päonien und Rieswurzararten, sowie das große Heer der einjährigen Gewächse, die in unglaublich kurzer Zeit keimen, blühen und Früchte reifen, besitzen, zumal in den Steppen, fast durchgehends kahles Laub. Gegen den Hochsommer zu, wenn die Dürre beginnt, sind alle diese Pflanzen bereits zur Frucht übergegangen, ihr bisher tätiges Laub beginnt zu vergilben und einzutrocknen, ihre saftreichen Zwiebeln und Knollen erhalten sich unterirdisch in einer wie zu Stein gewordenen Erde eingebettet, und die ausgefallenen Samen der einjährigen Pflanzen vermögen, von den mannigfaltigsten schützenden Hüllen umgeben, die Dürre des Sommers und die Strenge des Winters leicht zu überdauern. Was weiterhin im Hochsommer auf der Steppe oder im mediterranen Florengebiete noch tätig sein soll, würde mit dem kahlen Laubwerke der Frühlingspflanzen übel wegkommen. Soll jetzt eine Pflanze gegen das Austrocknen geschützt sein, so muß ihre Transpiration herabgesetzt werden, was denn auch durch die verschiedensten Schutzmittel, ganz vorzüglich aber durch einen immer dichter werdenden Haarüberzug, geschieht. Die Schmetterlingsblütler und Meldegewächse, vor allen die Strohblumen und Wermutarten (*Helichrysum*, *Xeranthemum*, *Artemisia*), welche im Hochsommer noch blühen und die größte Sonnenhitze ertragen, sind sämtlich dicht behaart, und die Gelände, welche vielleicht noch vor einem Monat in frisches Grün gekleidet waren, sind jetzt in düsteres Grau gehüllt. Dem Übergange von der feuchten Periode der Winter- und Frühlingsregen zu der Dürre des Hochsommers entspricht ein allmählicher Übergang von dem Grün des kahlen, saftigen Hyazinthenblattes zu dem Grau des filzigen, starren Immortellenblattes.

Eine ganz seltsame Erscheinung bilden im mittelländischen Florengebiet auch mehrere zweijährige und ausdauernde Pflanzen, welche in dem einen Frühling eine dem Boden aufliegende Blattrosette bilden, aus deren Mitte dann im folgenden Frühling ein beblätterter und blütentragender Stengel hervorstößt. Das im ersten Jahre gebildete Laub der Rosette hat den dünnen, heißen Hochsommer zu überdauern und ist dementsprechend mit grauem Haarfilz überzogen; der im zweiten Jahre schon im Frühling gebildete Blütenstengel erhebt sich aber im Verlaufe der feuchten Periode, bedarf des Schutzes der Haare nicht und ist daher mit grünen Blättern besetzt. Der Anblick dieser Gewächse, für welche als Beispiele die *Salvia*

lavandulaefolia und *Scabiosa pulsatilloides* aus Granada, das *Hieracium gymnocephalum* Dalmatiens und das im Mittelmeergebiet weitverbreitete *Helianthemum Tuberaria* erwähnt sein mögen, ist so fremdartig, daß man sich unwillkürlich fragt, ob denn wirklich dieser grün belaubte Stengel zu der grauen Blattrosette gehört, oder ob sich nicht jemand den Scherz gemacht hat, Stengel und Rosette von zwei verschiedenen Pflanzenarten zusammenzukoppeln.

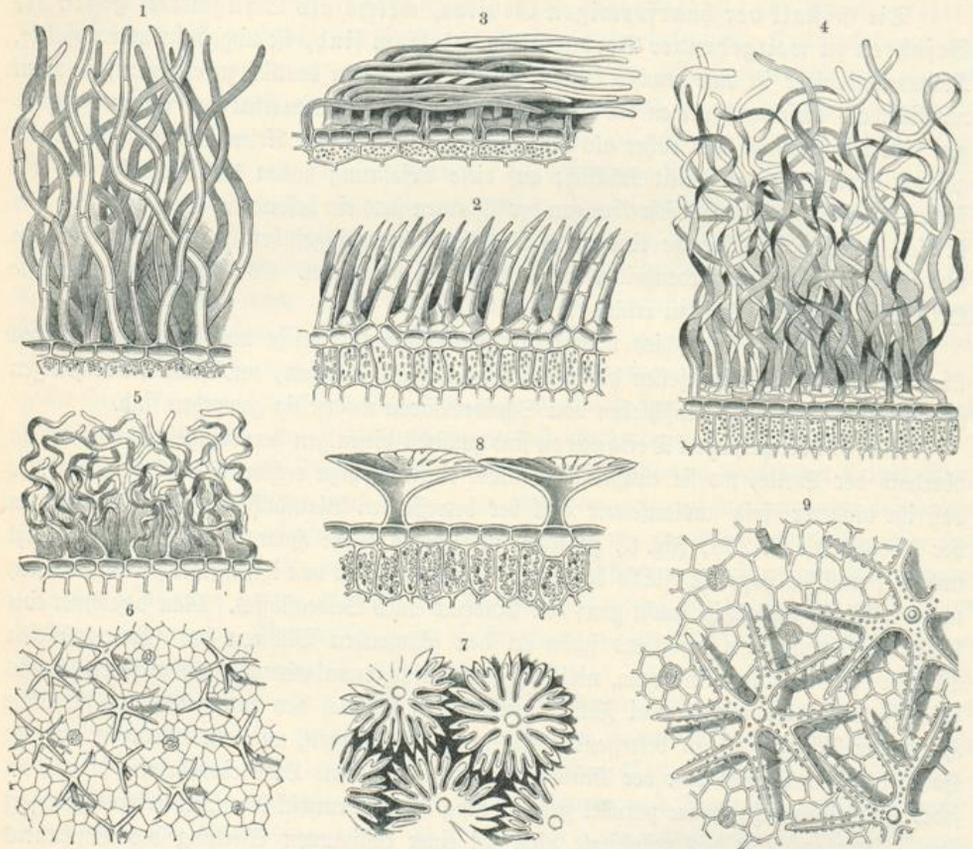
Die Gestalt der haarförmigen Gebilde, welche als Schutzmittel gegen die Gefahren zu weitgehender Verdunstung wirksam sind, ist ungemein mannigfaltig. Nichtsdestoweniger ist eine gewisse Beständigkeit der Gestalten deutlich zu erkennen, insofern nämlich, als dieselben Formen der Haare bei bestimmten Pflanzenarten und Pflanzengattungen stets wiederkehren und daher als beständige Merkmale dieser Arten und Gattungen angesehen werden können. Mit Rücksicht auf diese Erfahrung haben die Botaniker auf die Form der Haare bei den Beschreibungen der Pflanzen stets ein besonderes Gewicht gelegt und in die botanische Kunstsprache eine Reihe von Ausdrücken eingeführt, welche die wichtigsten und auffallendsten Verschiedenheiten kurz und bündig bezeichnen. Es ist hier der geeignetste Ort, diese Ausdrücke kurz zu erläutern.

In erster Linie unterschied man diejenigen Deckhaare, welche nur aus einer einzigen über die anderen Oberhautzellen hinauswachsenden Zelle bestehen, und stellte sie denjenigen gegenüber, welche durch Einschieben von Scheidewänden mehrzellig geworden sind.

Von den einzelligen Deckhaaren sind zunächst diejenigen hervorzuheben, welche dicht oberhalb der Stelle, wo sie entspringen, unter einem nahezu rechten Winkel umbiegen, so daß ihr längerer, spitz auslaufender Teil der betreffenden Blattfläche aufliegt, wie das in der Abbildung, S. 236, Fig. 3, zu sehen ist. Wenn solche Haargebilde in großer Zahl und in paralleler Lage die Fläche bedecken, so wird das Licht von ihnen stark zurückgeworfen, und ein solches Haarleid macht ganz den Eindruck eines Seidenstoffes. Man bezeichnet eine solche Behaarung, die besonders schön an den glänzenden Blättern der südeuropäischen Winden (*Convolvulus Onorum*, *nitidus*, *oleaefolius*, *tenuissimus* usw.) zu sehen ist, als seidig, kann aber wieder zwei Fälle unterscheiden, nämlich den häufigeren, wo sämtliche Haare der Mittelrippe des betreffenden Blattes parallel liegen, und den selteneren, wo die Haare rechts und links von der Mittelrippe eine verschiedene Lage einnehmen, so daß an jeder Hälfte sämtliche Haare parallel zur Richtung der dort entwickelten Seitenrippen gelagert sind. Dann gelangt das reflektierte Licht bei einer bestimmten Stellung des Beschauers immer nur von einer Blatthälfte in das Auge, während die andere Blatthälfte matt erscheint. Das ganze Blatt zeigt sich in solchem Falle mit jenem eigentümlichen, bei der geringsten Bewegung wechselnden Schimmer, den wir an den Flügeln gewisser Schmetterlinge bewundern, und den auch die unter dem Namen Atlas bekannten Seidenstoffe zeigen. Wenn die einzelligen Deckhaare der von ihnen bekleideten Fläche nicht anliegen, sondern sich erheben, so fehlt der Glanz oder ist doch nur schwach vorhanden.

Sind die Haare kurz, gerade, zahlreich, dicht zusammengedrängt und über der Ursprungsstelle nicht gebogen, so nennen wir das samtartig; sind sie dagegen verlängert und lockerer gestellt, so wird der Ausdruck zottig gebraucht. Haare, die aus einzelnen luftgefüllten, weichen, dünnwandigen, verlängerten, vielfach gedrehten und gekrümmten Zellen bestehen, nennt man Wollhaare und den aus ihnen gebildeten Überzug wollig. Die Wollhaare sind immer in deutlichen, wenn auch lockeren Schraubenlinien gedreht, manchmal fast korkzieherförmig gewunden. Die Drehung ist in der Regel entgegengesetzt der Drehung eines

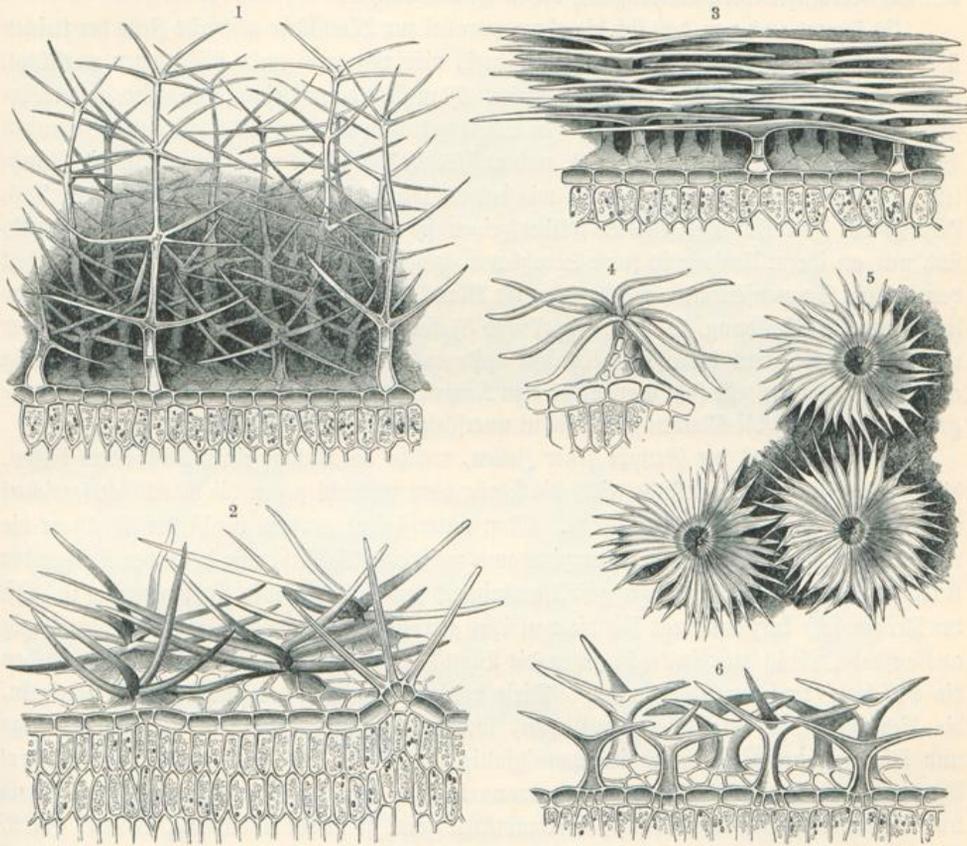
Uhrzeigers, was man als „links gedreht“ bezeichnet. Auch ist zu unterscheiden, ob die langgestreckten und gedrehten Zellen der Wollhaare im Durchschnitte kreisrund sind, wie an der südeuropäischen *Centaurea Ragusina* (s. untenstehende Abbildung, Fig. 5), oder ob sie bandförmig zusammengedrückt erscheinen, wie solche durch die untenstehende Abbildung, Fig. 4, an *Gnaphalium tomentosum* dargestellt werden. Der letztere Fall ist weitaus häufiger.



Deckhaare: 1 gegliederte Wollhaare von *Gnaphalium Leontopodium*; 2 gegliederte Samthaare von *Gloxinia speciosa*; 3 Seidenhaare von *Convolvulus Cneorum*; 4 bandförmig zusammengedrückte Wollhaare von *Gnaphalium tomentosum*; 5 schraubig gewundene Wollhaare von *Centaurea Ragusina*; 6 Sternhaare von *Alyssum Wierzbickii*; 7 sternförmige Haare der *Koniga spinosa*, Flächenansicht; 8 dieselben Haare im Durchschnitte; 9 Sternhaare der *Draba Thomasii*. Ungefähr 50fach vergrößert. (Zu S. 235—238.)

Die mehrzelligen Deckhaare entstehen dadurch, daß sich die betreffenden Hautzellen durch Scheidewände wiederholt teilen. Die Scheidewände sind entweder sämtlich zur Oberfläche des Blattes oder Stengels parallel, oder ein Teil von ihnen steht senkrecht zur Ebene des Blattes. Im ersten Falle gruppieren sich die Zellen gewöhnlich gleich den Gliedern einer Kette, und diese Haare werden auch Gliederhaare oder gegliederte Haare genannt. Sind solche gegliederte Haare kurz und nicht miteinander verwoben, wie das z. B. an den Blättern der *Gloxinien* der Fall ist (s. obenstehende Abbildung, Fig. 2), so machen die mit ihnen bekleideten Flächen den Eindruck von Samt; sind sie verlängert, verbogen, gedreht und verschlungen, so erscheint das betreffende Blatt wie mit Wolle überzogen (s. obenstehende Abbildung, Fig. 1),

und es wiederholen sich demnach für das freie Auge die schon bei den einzelligen Deckhaaren erwähnten Bekleidungsformen. Auch seidige Überzüge werden durch mehrzellige Deckhaare gebildet, und zwar durch die sonderbare Form, welche unten in Fig. 3 dargestellt ist. Diese Haare entwickeln sich in folgender Weise. Eine Oberhautzelle teilt sich zunächst durch eine zur Blattfläche parallele Scheidewand in zwei Tochterzellen; die Teilung wiederholt sich, und so entsteht eine kleine Kette aus drei, vier, fünf kurzen Zellen, die sich wenig über die



Deckhaare: 1 fiedrige Haare des *Verbascum thapsiforme*; 2 hirschkornförmige Haare der *Potentilla cinerea*; 3 tauförmige Haare der *Artemisia Mutellina*; 4 aktinienartige Haare der *Correa speciosa*; 5 Schüsselform der *Elaeagnus angustifolia*; 6 Sternhaare der *Aubrietia deltoidea*. Ungefähr 50fach vergrößert. (Su S. 237—239.)

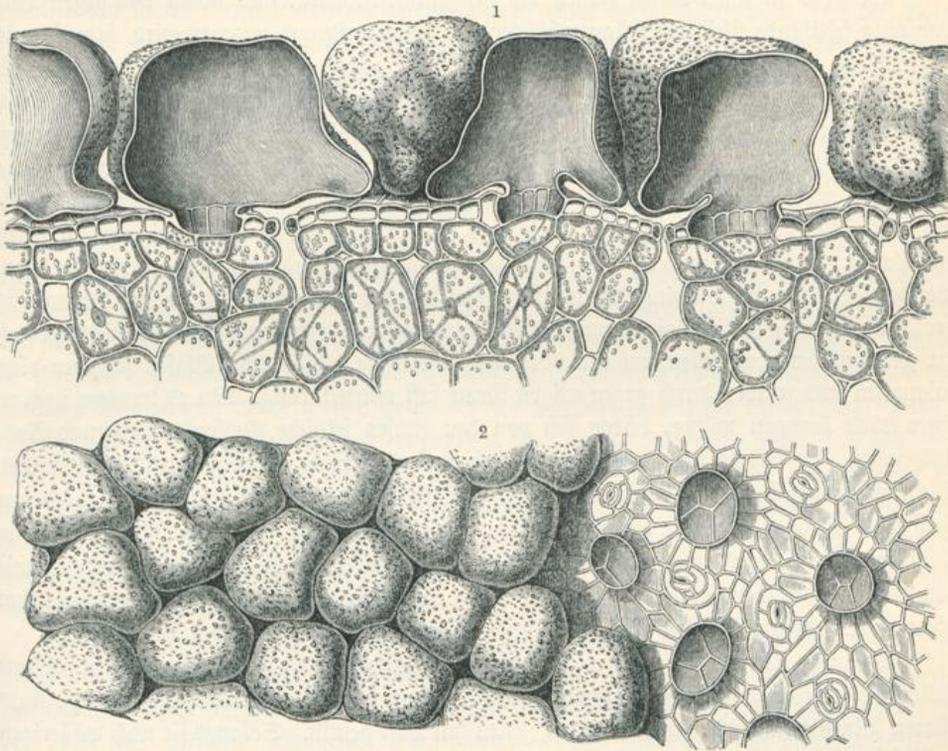
Blattfläche erhebt. Die oberste dieser Zellen teilt sich nicht weiter, sondern erfährt eine auffallende Vergrößerung, streckt sich aber sonderbarerweise nicht in die Höhe, sondern parallel zur Blattfläche und wird zu einem lanzettlichen, stäbchenförmigen, die Blattfläche beschattenden Gebilde, das von den Schwesterzellen wie von einem Piedestal getragen wird (s. obenstehende Abbildung, Fig. 3). Tausende solcher seltsamen, am besten mit einer Magnetnadel zu vergleichenden Haargebilde bekleiden, dicht zusammengedrängt, die Oberfläche des Blattes und haben, wenn sie sehr regelmäßig geordnet sind und das Licht gleichmäßig zurückwerfen, deutlichen Seidenglanz. Sind sie verbogen, so wird auch der Glanz mehr oder weniger abgedämpft. Diese Form der Deckhaare ist ungemein verbreitet. Zahlreiche Tragant-Arten,

die der mittelländischen Flora angehörigen Skabiosen (*Scabiosa cretica*, *hymettia*, *graminifolia*), mehrere in den südrussischen Steppen heimische Schotengewächse (*Syrenia*, *Erysimum*), die prachtvolle australische Aster *argophyllus* und insbesondere die zahlreichen Vermutarten: die südeuropäischen *Artemisia arborescens* und *argentea*, die den Steppen und der sibirischen Flora angehörenden *A. sericea* und *laciniata*, der gewöhnliche Vermut, *A. Absinthium*, und die wiederholt erwähnte, auf den Klippen der Hochgebirge heimische Edeltraute *A. Mutellina*, verdanken ihren Seidenglanz diesen Haarbildungen.

Es kommt auch vor, daß sich die obere, parallel zur Blattfläche gestreckte Zelle der kleinen über die Haut erhobenen Zellgruppe nach drei, vier und noch mehr Richtungen ausstülpt, wodurch sie ein sternförmiges Aussehen erhält. Man sieht dann kleine, drei-, vier- und mehrstrahlige Sternchen, die von einem kurzen Stiele getragen werden, als Decke des betreffenden Blattes (s. Abbildung, S. 236, Fig. 6, und auf S. 237, Fig. 6). Manchmal sind die Strahlen der sternförmigen Zellen gegabelt, wie das an *Draba Thomasii* (s. Abbildung, S. 236, Fig. 9) der Fall ist. In seltenen Fällen zeigen sie ein verhältnismäßig großes Mittelfeld, sind nur an ihrem Umfang in kurze Strahlen ausgezogen und haben dann ganz das Ansehen von kleinen Sonnenschirmen, welche über die Blattfläche ausgespannt sind. Die letztere zierliche Form (s. Abbildung, S. 236, Fig. 7 und 8) findet man besonders schön an der in der mittelländischen Flora heimischen *Koniga spinosa*. Alle diese Deckhaare mit sternförmig ausgezackter Scheitelzelle faßt man unter dem Namen Sternhaare zusammen. Die Schotengewächse und auch die Malven zeigen sie in unerlöschlicher Mannigfaltigkeit.

Wenn sich aus der Gruppe jener Zellen, welche die Anlage eines Deckhaares bilden, die oberste durch Scheidewände teilt, die schräg oder senkrecht gegen die Blattfläche gerichtet sind, so entstehen verästelte Haare. Man unterscheidet an dem verästelten Deckhaar die Äste, die fast immer sternförmig gruppiert und meist einzellig sind, und dann den Träger der Äste, der sich zumeist wie ein Fußgestell ausnimmt und bald einzellig, bald vielzellig ist. Ist der Träger sehr kurz und teilt sich die von ihm getragene Zelle durch mehrere strahlenförmig auslaufende, schräg oder senkrecht gegen die Blattfläche gerichtete Scheidewände, so entstehen die büschelförmigen Deckhaare. Diese machen manchmal den Eindruck von Seeigeln, die dicht gedrängt einer Fläche aufliegen, sind in der Größe sowie in der Zahl, Länge und Richtung der Äste ungemein mannigfaltig und finden sich besonders an den Fingerkräutern (z. B. *Potentilla cinerea* und *arenaria*), an Zistrosen und Sonnenröschen (*Cistus* und *Helianthemum*). Eine häufig vorkommende Form ist in der Abbildung, S. 237, Fig. 2, dargestellt. Wenn das Fußgestell sehr kurz ist, und wenn die von ihm getragenen, strahlenförmig auslaufenden Astzellen miteinander verwachsen sind, so entsteht eine sternförmige, gestreifte, vielzellige, am Rand ausgezackte Schuppe (s. Abbildung, S. 237, Fig. 5). Diese Schuppen sind meistens eben, liegen der Oberfläche des bekleideten Blattes oder Stengels platt auf, schieben sich mit ihren ausgezackten Rändern übereinander, verdecken die grüne Blattfläche so vollständig, daß dieselbe nicht mehr grün, sondern weiß erscheint, und verleihen dem bekleideten Blatt auch einen lebhaften, fast metallischen Glanz. Man nennt solche Blätter schülferig (*lepidotus*). Als Beispiele für Pflanzen mit silberglänzenden Schülfern auf den Blättern mögen die Arten der Gattung Olear (Elaeagnus) und Sanddorn (*Hippophaë*) genannt sein. Sind die Schuppen verbogen, unregelmäßig gefranst und glanzlos, so sieht das von ihnen bekleidete Blatt gerade so aus, als hätte man Kleie darauf gestreut, und es werden solche Blätter auch kleiig (*furfuraceus*) genannt. Beispiele hierfür bieten insbesondere

die Überzüge der Blätter an vielen ananasartigen Gewächsen (Bromeliaceen). Ist die von einem ziemlich hohen Untersatz getragene Gipsfzelle des Haares in zahlreiche strahlenförmig auseinander fahrende Tochterzellen geteilt, so entsteht ein Gebilde, welches einer Knute oder, wenn die strahlenförmigen Zellen kurz sind, einer Seeanemone (Aktinie) einigermaßen ähnlich sieht. Diese Form der Haare findet man beispielsweise an den süd- und osteuropäischen Filzblumen (Phlomis) und mit mehrzelligem Untersatz an den Blättern des neuholländischen Strauches *Correa speciosa* (s. Abbildung, S. 237, Fig. 4). Mitunter baut ein verästelttes



Riese Panzer der *Roehia falcata*: 1 Durchschnitt senkrecht auf die Blattfläche, 2 Flächenansicht; rechts ist der blasenförmig aufgetriebene Teil einiger Oberhautzellen entfernt, und dadurch sind die kleinen Oberhautzellen und die Spaltöffnungen ersichtlich gemacht. 350fach vergrößert.

Haar mehrere Stockwerke übereinander auf, und es entstehen dadurch Haargebilde, welche unter dem Mikroskop wie Tannenbäumchen aussehen. Wenn zahlreiche solche bäumchenförmige Haare dicht nebeneinander stehen und mit ihren Ästen ineinander greifen, so macht ein solcher Haarüberzug unter dem Vergrößerungsglase den Eindruck eines kleinen Waldes, und dieses Bild wird um so augenfälliger, wenn sich unter den höheren mehrstöckigen, bäumchenförmigen Haaren auch einstöckige wie Unterholz im Hochwald einfänden. Dies ist der Fall an der Königsferze, *Verbascum thapsiforme*, deren Behaarung die Abbildung auf S. 237, Fig. 1, darstellt. Dem unbewaffneten Auge erscheinen solche Haargebilde als Flocken und werden auch als flockige Haare bezeichnet. Manche von ihnen, z. B. die Haarflocken einer Königsferzenart (*V. pulverulentum*), rollen sich zusammen und bilden kleine Knäuel, welche der Blattfläche das Ansehen geben, als wäre sie mit weißem, grobem Pulver bestreut worden

Bei dichtem Stande der Sternhaare und Büschelhaare, der verzweigten flockigen Haare und der unverzweigten Wollhaare ist es unvermeidlich, daß die benachbarten Haarzellen sich kreuzen, verschlingen und mehr oder weniger verweben, und es entsteht auf diese Weise eine verfilzte Masse, von der die Oberfläche des betreffenden Pflanzenteiles überzogen wird. Man nennt solche Haarmassen auch Filz. Oft bildet der Filz nur eine dünne, lockere Schicht, durch die das Grün der Blattfläche durchschimmert; mitunter ist er aber so dick aufgelagert, daß das überzogene Blatt schneeweiß erscheint.

Während in allen diesen Fällen die luftgefüllten Haare, aus denen das gegen Verdunstung schützende Kleid der Pflanzenblätter und Pflanzenstengel gewoben wird, fadenförmig gestreckt, in der Regel sogar stark verlängert sind, zeigen sich dieselben bei einigen dickblättrigen Pflanzen, namentlich an den Arten der im Kaplande heimischen Gattung *Rochea*, als blasenförmig aufgetriebene Gebilde, und da diese Blasen in Reih' und Glied geordnet aneinander schließen, bilden sie zusammengenommen eine Schicht, die sich über die anderen Hautzellen wie ein Panzer ausbreitet. Die gewöhnlichen Hautzellen sind, wie aus Abbildung S. 239, Fig. 1, zu ersehen ist, klein und an der Außenwand nur wenig verdickt. Die den Panzer zusammensetzenden Zellen sind dagegen ganz ungewöhnlich vergrößert; schon ihre füsselförmige Basis, die wie eingeklebt inmitten gewöhnlicher Hautzellen sitzt, ist verhältnismäßig groß; aber nun gar die blasenförmige Aufreibung zeigt Dimensionen, welche das Ausmaß der gewöhnlichen Hautzellen um das 600fache übertreffen. Sämtliche Blasen schließen dicht zusammen und werden durch gegenseitigen Druck fast würfelförmig. Wo es trotzdem noch zu einer Lücke kommen würde, bilden sich von den Blasen seitliche Ausbuchtungen und Ausstülpungen, die sich so ineinander fügen, daß ein vollkommen geschlossener Panzer entsteht. Die Bezeichnung Panzer ist hier um so mehr gerechtfertigt, als die blasenförmig aufgetriebenen Zellen der *Rochea* hart wie Kieselsteine sind. In ihre Zellhaut ist sehr reichlich Kieselsäure eingelagert, und durch Ausglühen erhält man von ihnen ein ganz ähnliches Kiesel skelett wie von den kieselhaltigen Diatomeen. In trockener Zeit bietet ein solcher Panzer den von ihm überdeckten saftreichen Zellen natürlich einen ausgezeichneten Schutz gegen Verdunstung.

Allerdings kommt hier auch noch ein anderer Umstand in Betracht. Die blasenförmigen Zellen sind auch an vollständig ausgewachsenen Blättern noch von Protoplasten erfüllt; erst an älteren Blättern sind die blasenförmigen Zellen mit Luft gefüllt. Solange sie noch wässerigen Zellsaft enthalten, bilden sie Wasserspeicher, aus denen die darunterliegenden chlorophyllführenden grünen Zellen zur Zeit der größten Dürre, wenn alle anderen Quellen erschöpft sind, Wasser beziehen können. Gerade der Umstand, daß hier die Wasserspeicher an der Peripherie der Pflanze liegen, wo doch der Anregungsmittel zur Verdunstung in die umgebende Luft so viele sind, beweist, wie gut die verkieselten Wände dieser Blasen funktionieren. Man kann dieselben geradezu mit Glasgefäßen vergleichen, deren Mündungen gegen das grüne Gewebe gerichtet sind, deren Wände aber schlechterdings kein Wasser durchlassen.

Transpirationsschutz durch Gestalt und Lage der verdunstenden Blätter und Zweige.

Es wurde früher die Vergrößerung der grünen Blattflächen als ein Förderungsmittel der Transpiration erklärt, was insbesondere dann, wenn die betreffende Pflanze in feuchter

Luft wächst, von größtem Belang ist. Umgekehrt wird eine Verkleinerung der grünen Blattflächen allgemein eine Beschränkung der Transpiration bedeuten. Dieses Verhältnis findet zunächst seinen Ausdruck darin, daß tatsächlich in allen Florengebieten, in denen die Tätigkeit der Vegetation durch Trockenheit beschränkt wird, das Laub der Pflanzen weniger ausgebreitet ist und besonders eine Verschmälerung erfährt. Es ist auch zu auffallend, um nicht allgemein bekannt zu sein, daß ein und dieselbe Art, wenn sie an einem trockenen, sonnigen Standorte wächst, kleineres, insbesondere schmäleres Laub zeigt als dann, wenn sie an einem feuchten Standort aufgewachsen war. Wenn man, von den Berglandschaften am Rande des ungarischen Tieflandes ausgehend, die Puzten der Niederung besucht, so tritt gerade dieser Gegensatz an den Pflanzen am meisten hervor. Eine Menge von Stauden und Kräutern, *Anchusa officinalis*, *Linum hirsutum*, *Alyssum montanum*, *Thymus Marschallianus* usw., zeigen auf dem dünnen Sande der Ebene viel schmalere Blätter als in den Tälern des Berglandes. Neben der Verschmälerung des Laubes kommt auch die Bildung von grubigen Vertiefungen in der Fläche der Blätter und die dadurch bedingte Runzelung der Blattspalten vor. Strenggenommen, ist das freilich keine Verkleinerung der ganzen Oberfläche des Blattes, wohl aber eine Verkleinerung derjenigen Fläche, welche von der Sonne beschienen und vom Winde bestrichen wird. Gerade darum aber handelt es sich hier. Mit Rücksicht auf die Wasserabgabe kommt nur das Ausmaß jener Flächen in Betracht, auf welche die Ursachen der Verdunstung unmittelbar Einfluß haben, während das Ausmaß der grubigen Vertiefungen, welche den Sonnenstrahlen und der Einwirkung trockener Luftströmungen nicht ausgesetzt sind, abzuziehen ist. Im ganzen genommen, sind übrigens Gewächse mit runzeligem und grubig vertieftem Laube nicht sehr häufig. Am meisten beobachtet man die Runzelung noch an ganz jungen, eben erst aus den Hüllen der Knospen hervorbrechenden Blättern, deren Hautzellen noch nicht genügend kutikularisiert sind. Später, wenn einmal die Ausbildung der Kutikula vorgeritten ist, glätten sich die Runzeln, und das Blatt wird allmählich ebenflächig.

Früher ist freilich darauf hingewiesen, daß grubige Vertiefungen, in denen Spaltöffnungen liegen, ein Schutz gegen eindringende Regentropfen seien. Es liegt durchaus kein Widerspruch darin, daß dasselbe Gebilde einmal das Eindringen von Wasser und die Benetzung der in der Tiefe der Gruben geborgenen Spaltöffnungen, ein andermal den Anprall trockener Winde und eine zu weit gehende Verdunstung hindert. Jedes zu seiner Zeit. Wenn das Laub der australischen Proteaceen während des Sommerschlafes monatelang den sengenden Sonnenstrahlen und der warmen, trockenen Luft ausgesetzt ist und jeder Zufluß von Wasser aus dem Boden aufgehört hat, muß die Verdunstung der Blätter möglichst beschränkt werden, und dann werden die grubenförmigen Vertiefungen in diesem Sinn ihre Schuldigkeit tun. Wenn aber später die Gewächse aus dem langen Schlafe der Dürre erwachen und in der äußerst kurz bemessenen Zeit, in der sie sich mit neuer Nahrung versorgen, wachsen, blühen und Früchte reifen sollen, Regenguß auf Regenguß vom trüben Himmel nieder rauscht und alle Blätter von Nässe triefen, ist es wieder von Wichtigkeit, daß trotz dieser für die Verdunstung sehr ungünstigen Verhältnisse dennoch eine ausgiebige Transpiration stattfindet, in der die Funktion der Spaltöffnungen in keiner Weise durch die Nässe behindert wird. Jetzt aber werden dieselben grubenförmigen Vertiefungen, welche in der Trockenperiode gegen Verdunstung schützten, die Spaltöffnungen vor Nässe zu bewahren haben.

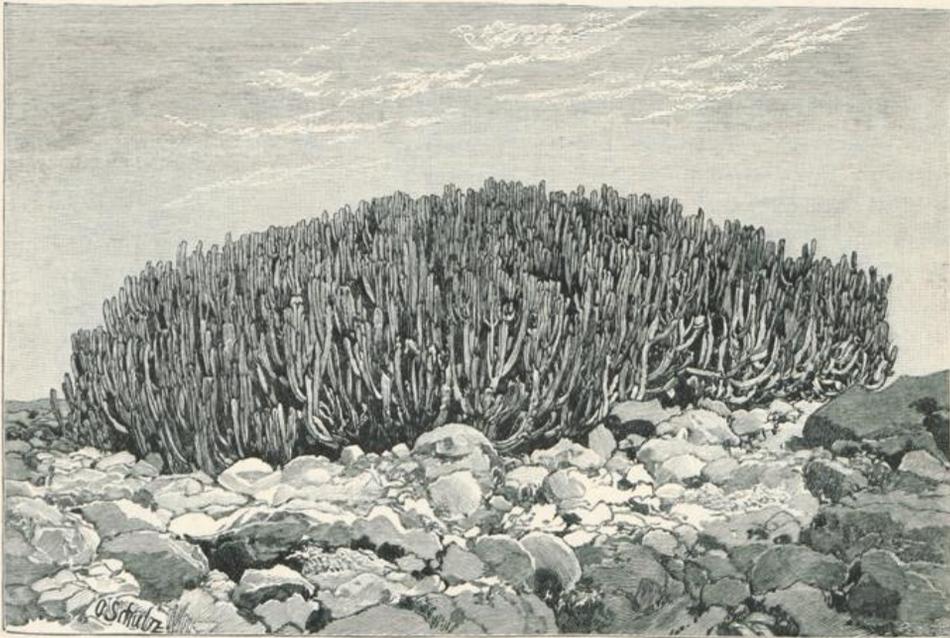
Bei vielen Pflanzen erfährt die Verdunstung der oberflächlichen Gewebe eine Einschränkung

dadurch, daß die Blätter wie die Schuppen auf dem Rücken eines Fisches den Sprossen fest angepreßt sind. Die obere, dem Stengel anliegende, manchmal auch angewachsene Seite eines jeden Blattes ist infolgedessen der Verdunstung entzogen, und die Transpiration kann nur von der etwas gewölbten oder auch gefielten Rückseite der schuppenartigen grünen Blättchen stattfinden. So findet man es beispielsweise bei den Lebensbäumen, bei mehreren Wacholderarten, *Thuja*, *Libocedrus* und verschiedenen anderen Koniferen. Interessant ist es, daß bei mehreren dieser Nadelhölzer die schuppenförmigen grünen Blättchen sich nur dann dem Stengel andrücken, wenn sie den Sonnenstrahlen ausgesetzt sind, während sie abstehen, wenn die betreffenden Zweige beschattet sind.

Eine weitere Verkleinerung der verdunstenden Oberfläche wird durch die Ausbildung des Dickblattes erreicht. Um die hier in Betracht kommenden Verhältnisse möglichst anschaulich zu machen, ist es vielleicht am Platze, folgende Bemerkungen einzuschalten. Wenn man eine Bleiplatte von der Dicke eines Millimeters und der Breite und Länge von beiläufig 8 cm in einen soliden Zylinder umwandelt, so beträgt der Durchmesser dieses Zylinders nur 1 cm, und die ganze Oberfläche des Zylinders ist fünfmal kleiner, als die Oberfläche der Platte war. Wendet man nun diese Zahlen auf den Gewebekörper eines Pflanzenblattes an, so ist damit ein Anhaltspunkt gegeben, um sich vorzustellen, wievielfach kleiner die transpirierende Fläche eines dicken, zylindrischen im Vergleiche zu jener eines dünnen, plattenförmigen Blattes ist. Solche Dickblätter, welche sich der Zylinderform mehr oder weniger nähern, findet man auch regelmäßig dort, wo die Transpiration für längere Zeit sehr herabgesetzt werden muß, also beispielsweise in den mittel- und südeuropäischen Gebirgsgegenden, an den auf leicht austrocknendem sandigen Boden, an Steinwänden und Mauern vorkommenden Arten der Gattung *Sedum* (*Sedum album*, *reflexum*, *dasyphyllum*, *atratum* usw.), in auffallender Weise auch an vielen auf Felsen oder als Epiphyten auf der Borke der Bäume wachsenden tropischen Orchideen Ostindiens, Mexikos und Brasiliens, welche länger als ein halbes Jahr großer Trockenheit ausgesetzt sind (*Brasavola cordata* und *tuberculata*, *Dendrobium junceum*, *Leptotes bicolor*, *Oncidium Cavendishianum* und *longifolium*, *Sarcanthus rostratus*, *Vanda teres* und viele andere), besonders aber an den Moen und Stapelien, den Arten von *Cotyledon*, *Crassula* und *Mesembryanthemum*, die an den dürrsten Stellen im Kapland ihre Heimat haben. Auch mehrere an den felsigen Klippen am Meeresstrand im Sonnenbrande wachsende Dolbenpflanzen, Korbblütler und Portulakazeen (*Inula crithmoides*, *Crithmum maritimum*, *Talinum fruticosum*) und viele Salsolazeen der Wüsten und Salzsteppen, sowie endlich auch einige Proteazeen der zwei Drittel des Jahres hindurch der Trockenheit ausgesetzten Landstriche Australiens (z. B. *Hakea rostrata*) sind durch die Ausbildung von Dickblättern ausgezeichnet.

Was bei den dickblättrigen Pflanzen durch die Gestalt der Blätter erzielt wird, erreichen die Kakteen und viele Euphorbiaceen dadurch, daß ihr Stengel kein Laub entwickelt, sondern selbst dick und fleischig wird und die Funktionen des Laubes übernimmt. Das grüne Gewebe ist hier der Rinde des Stammes angehörig, die darüber ausgebreitete Haut ist wie die Haut der Laubblätter mit Spaltöffnungen versehen, und die grüne Rinde transpiriert und funktioniert überhaupt ganz so, wie es sonst die grünen Laubblätter tun. Wenn solche fleischigen Stämme reich verästelt und die Zweige kurz sind, sehen sie mitunter dickblättrigen Pflanzen sehr ähnlich. Manchmal sind auch die einzelnen Glieder des Stengels und der Zweige als fleischige, blattähnliche Scheiben ausgebildet, wie das bei der Gattung Feigenkaktus

(Opuntia) der Fall ist, und solche Stengelglieder werden von den Laien auch gewöhnlich für dicke Blätter gehalten. Gärtner fassen die Dickblätter und die Kakteen und andere unter dem gemeinsamen Namen der Fettpflanzen oder Sukkulenteu zusammen. Der erstere Name ist wenig bezeichnend, da diese Pflanzen keineswegs Fett produzieren. Ihre dicken Stämme und Blätter sind Wasserspeicher. Richtiger nennt man sie Saftpflanzen und kann sie dann als Blatt- und Stammsukkulenteu unterscheiden. Neben den blattlosen, kandelaberartigen, baumförmigen Wolfsmilcharten Afrikas und Ostindiens und den mit derben Stacheln bewehrten, zu dichten, undurchdringlichen Gestrüppen verbundenen Euphorbien der Kanarischen Inseln (s. untenstehende Abbildung) gehören zu den Stammsukkulenteu die Opuntien und

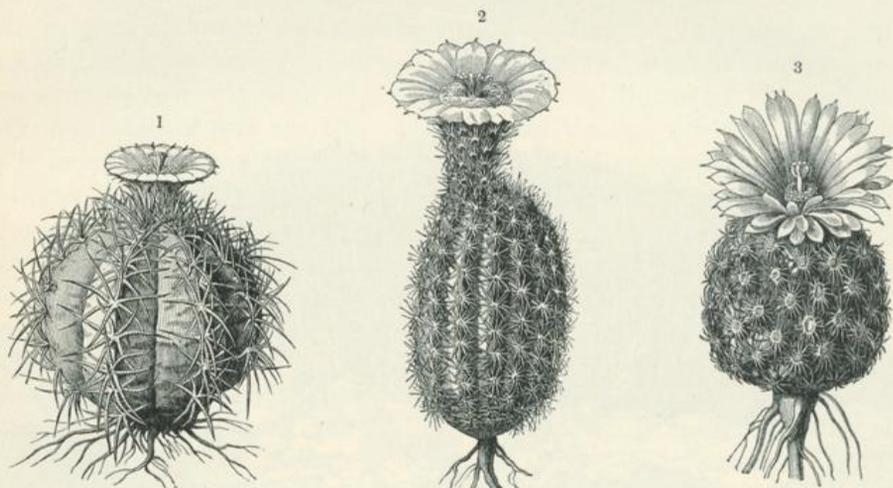


Nopal-Strup aus *Euphorbia Canariensis*. Nordküste von Tenerife. Nach einer Photographie von D. Simonv.

Kakteen, die *Cereus*-, *Echinocactus*-, *Melocactus*- und *Mamillaria*-Arten, welche von Chile und Südbrasilien über Peru, Kolumbien, die Antillen und Guatemala verbreitet, besonders aber auf der Hochebene Mexikos in einer erstaunlichen Mannigfaltigkeit von Formen und riesigen Größen entwickelt sind. Ihre gewöhnlichsten Standorte sind die sandigen und steinigen Ebenen, die wüsten felsigen Plateaus, die Ritzen des zerklüfteten Gesteines, welche der Dammerde fast völlig entbehren. Immer bewohnen sie Gegenden, welche nahezu drei Viertel des Jahres hindurch regenlos sind und überhaupt zu den trockensten der Erde gehören. Diesen Verhältnissen des Standortes entspricht auch die ganze Organisation dieser Pflanzen. An Stelle der Laubblätter sieht man trockene Schuppen und Haare ausgebildet, und vielfach sind die Laubblätter zu Stacheln umgewandelt, welche, in großer Zahl von den dicken Stengelbildungen abstehend, diese vor den Angriffen der dürstenden, nach dem saftreichen Gewebe im Innern lüfternen Tiere vortrefflich schützen (s. Abbildung, S. 244).

Die Haut der zu säulen-, scheiben- oder kugelartigen Formen auswachsenden Stämme

ist an ihrer Außenwand fast knorpelig verdickt, und durch reichliche Einlagerung von Kutin wird ein förmlicher Panzer um die tiefer liegenden grünen Gewebe gebildet. Die meisten Dickblätter und Kakteenstämme, deren an die Luft grenzende Zellhäute mit Kutikula, mit Kieselsäureeinlagerungen und manchmal auch mit dicken Wachskrusten gepanzert sind, bestehen vorwiegend aus Geweben, welche der Aufbewahrung von Wasser für die der atmosphärischen Niederschläge entbehrende Jahreszeit dienen. Das Wasser in diesen Wasserspeichern reicht immer von der einen bis zur anderen Regenzeit aus, so daß die von dem aufgespeicherten Wasser zehrenden angrenzenden grünen Gewebe während der trockenen Periode keinen Wassermangel leiden. Es ist auch bei allen diesen Pflanzen die Möglichkeit gegeben, daß sofort nach dem Falle der ersten Regen die Speicher mit Wasser gefüllt werden. Die Zellen des wasserspeichernden Gewebes sind verhältnismäßig groß und ihre Wände dünn; das in ihnen



Planta: 1 *Echinocactus horizontalis*; 2 *Cereus dasycanthus*; 3 *Mamillaria pectinata*. Sämtliche Figuren verkleinert. (Zu S. 243.)

tätige Protoplasma bildet einen zarten Wandbeleg und umschließt schleimigen Zellsaft, so daß diese Gewebe das von den Wurzeln aufgenommene Wasser begierig an sich reißen. Bei den Kakteen bilden die Gewebe den ganzen Körper des dicken, säulenförmigen oder kugelförmigen Stammes; bei Dickblättern, so namentlich bei einem Teile der europäischen Arten der Gattung *Sedum* (z. B. *Sedum album*, *dasyphyllum*, *glaucum*), bei den südafrikanischen Arten der Gattungen *Aloë* und *Mesembryanthemum* (z. B. *Mesembryanthemum blandum*, *foliosum*, *sublacerum*), baut das Wassergewebe das Blatt auf. Bei dem unter dem Namen Fetthenne bekannten *Sedum Telephium*, ebenso bei den Arten der Gattung Hauswurz (*Sempervivum*) sowie bei vielen steppenbewohnenden *Salsolazeen* sind die Verzweigungen der Gefäßbündel von einem Mantel aus grünem Gewebe eingehüllt, und die mit grünen Zellen gleichsam belegten Gefäßbündel sind dem farblosen Wassergewebe so eingelagert, daß sie von dem freien Auge als grüne Stränge in einer wasserhellen, durchscheinenden Masse gesehen werden. Bei den mexikanischen *Cheverien* ist das Wassergewebe in breiten Streifen dem grünen Gewebe eingeschaltet, und bei den dickblättrigen *Orchideen* kommt es vor, daß das Wassergewebe zwischen die grünen Zellen gleichsam eingeprengt ist. Zahlreichen anderen Blattfukulenten dient merkwürdigerweise die Haut zur Aufspeicherung des Wassers. Es sind

dann alle oder einzelne Hautzellen außerordentlich vergrößert und erheben sich über die anderen in Gestalt von Schläuchen, Kolben und Blasen. In einigen Fällen bilden sie getrennte Gruppen oder sind auch vereinzelt, erscheinen dem freien Auge als Erhabenheiten auf den grünen Stengeln und Blättern und glitzern und funkeln im Sonnenscheine wie ein Besatz von Tauperlen, z. B. haben Stengel und Blätter des weitverbreiteten Kristallkrautes (*Mesembryanthemum cristallinum*) Ähnlichkeit mit kandierten Früchten, an deren Oberfläche farblose, wasserhelle Zuckerkristalle schimmern.

Wenn die Wände solcher Wasserblasen verkieselt sind, wie jene der S. 240 genannten *Rochea*, so begreift man leicht die Unmöglichkeit, daß der wässerige Zellsaft, den sie enthalten, in die Atmosphäre verdunstet. Die Flüssigkeit ist hier wie in einer Glasflasche geborgen und kann nur in der Richtung gegen das grüne Gewebe zu abgegeben werden. Wie aber dann, wenn die Wände der blasenförmigen Riesenzellen der Haut nicht verkieselt, ja nicht einmal besonders verdickt sind? Beim Anblick des Kristallkrautes sollte man glauben, daß ein einziger trockener, warmer Tag genügen würde, um die mit Wasser gefüllten Blasen zum Schrumpfen und Vertrocknen zu bringen. Das ist aber durchaus nicht der Fall. Man kann abgeschnittene beblätterte Zweige des Kristallkrautes tagelang auf trockenem Boden und in trockener Luft im Sonnenscheine liegen lassen, ohne daß die großen, blasigen Zellen an der Oberfläche ihren wässerigen Inhalt verlieren; erst nach Wochen sinken sie zusammen und haben ihr Wasser abgegeben, aber nicht an die Atmosphäre, sondern an das von der blasigen Haut überdeckte grüne Gewebe. Ohne Zweifel hängt diese Erscheinung mit einem eigentümlichen Bau der Zellwand zusammen; ebenso gewiß aber ist hier auch der Gehalt des die Blasen erfüllenden Zellstoffes nicht ohne Bedeutung, und es ist vorauszusetzen, daß in der wässerigen Flüssigkeit der blasenförmigen Zellen Stoffe gelöst sind, welche die Verdunstung des Wassers beschränken.

Als solche Stoffe, welche das Wasser mit großer Energie festhalten und dadurch die betreffenden Gewächse befähigen, Perioden der größten Trockenheit anstandslos durchzumachen, beobachtet man teils zähe, gummiartige und harzige Säfte, teils Salze. Es ist bekannt, daß die zähe gummiartige Substanz, welcher die Samen in den Hülsen der *Sophora Japonica* eingelagert sind, und die kleberige, wasserreiche Masse der zerquetschten Mistelbeeren, die man zur Bereitung des „Vogelleimes“ benutzt, monatelang der Luft ausgesetzt sein können, ohne daß sie ganz austrocknen, und ähnlich verhält es sich auch mit den schleimigen Säften in vielen Kakteen und Dickblättern, namentlich den Moen des Kaplandes, welche wenig Wasser an die Atmosphäre abgeben und die mit ihnen versehenen Pflanzen in den Stand setzen, monatelanger Dürre zu trogen. An den Dickblättern der Salzsteppen und Wüsten sind die Säfte seltener schleimig, sondern enthalten häufig im Wasser gelöste Salze: Kochsalz, Chlormagnesium und dergleichen, und diese Salze halten gleichfalls das Wasser in verhältnismäßig großer Menge sehr hartnäckig zurück. Es gehört zu den überraschendsten Erscheinungen, in den Salzsteppen gerade zur Zeit der größten Dürre des Bodens, im Hochsommer, nachdem monatelang keine Wolke die Strahlen der Sonne abgeschwächt hat und kein Tropfen Regen gefallen ist, wenn fast alle anderen Pflanzen längst vergilbt und verdorrt sind, die dickblättrigen *Salsolazeen* grün und safttrogend sich über dem Boden ausbreiten zu sehen. Der große Salzgehalt ihrer Säfte gibt ihnen eine Widerstandsfähigkeit, die fast noch größer ist als jene, welche durch den Gehalt an gummiartigen und schleimigen Stoffen veranlaßt wird.

Äußerste Beschränkung des Laubes und Ausbildung von grünem transpirierenden

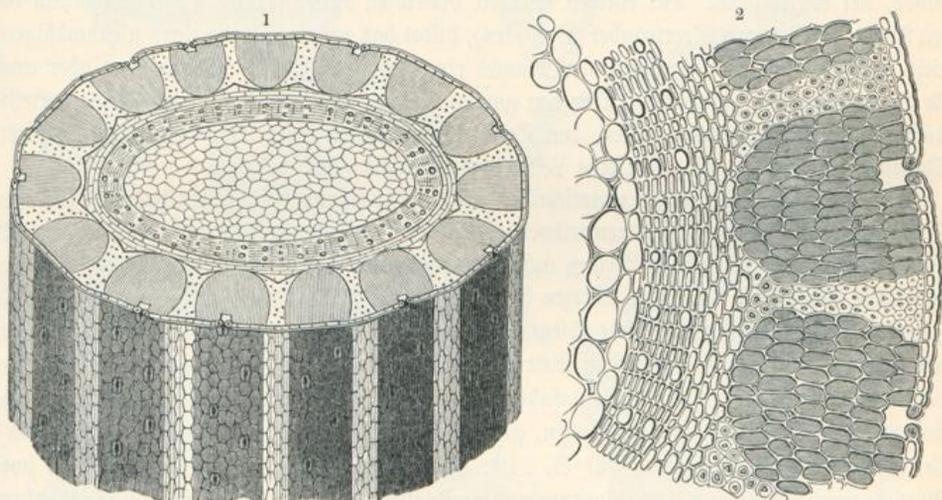
Gewebe in der Rinde der Stengel zeigt außer den Stammsukkulenten auch noch eine Gruppe von Pflanzen, welche unter dem Namen Rutengewächse begriffen werden. Im Gegensatz zu den Sukkulenten, welche durch wenig verzweigte Achsen und massige, verdickte, fleischige, starre, im Wind unbewegte Stengelglieder charakterisiert werden, sind die Rutengewächse durch dünne, schlanke, gertenförmige Stengel und Zweige gekennzeichnet. Sie gliedern sich wieder in solche, welche schlank, hohl und wenig verästelt sind, wie beispielsweise die Schachtelhalme (*Equisetum*), die Simsen (*Scirpus*), die Binsen (*Juncus*), die Knopfgräser (*Schoenus*) und mehrere Cypergräser (*Cyperus*), und in die besenartigen Sträucher mit holzigen, dünnen, in



Rutengewächse: Gestrüppe des Besenginsters (*Spartium junceum*) auf einem Felslande bei Rovigno in Istrien. (Zu S. 247.)

unzählige Zweige und Zweiglein aufgelösten Ästen. Die ersteren sind über die ganze Welt verbreitet, die letzteren dagegen sind vorzüglich in Australien und in den Küstenlandschaften des Mittelmeeres vertreten. In Australien sind es besonders die Kasuarineen und mehrere Gattungen der Schmetterlingsblütler und Santalazeen (*Sphaerolobium*, *Viminaria*, *Leptomeria*, *Exocarpus*), welche in dieser bizarren Form erscheinen, und von denen einige selbst zu Bäumen empornwachsen. In der Mittelmeerflora erscheinen einzelne Arten und Gruppen aus den Familien der Asparageen, Polygaleen und Nefedazeen, ganz vorzüglich aber wieder Schmetterlingsblütler und Santalazeen, deren steife, dünne, gertenförmige, grün berindete Zweige blattlos in die Luft starren. Mehrere der rutenförmigen Schmetterlingsblütler aus den Gattungen *Retama*, *Genista*, *Cytisus* und *Spartium* wachsen gesellig, überziehen oft weite Strecken in dichten, geschlossenen Beständen und tragen so nicht wenig zu der landschaftlichen

Eigentümlichkeit des Gebietes bei. Von dem Besenginster (*Spartium junceum*), der auf S. 246 abgebildet ist, werden an der istrischen Küste mehrere kleine Felseilande, die man dort Scoglien nennt, buchstäblich ganz überwuchert. Im Mai erscheinen an den grünen Gerten des Besenginsters große, goldige, wie Akazien duftende Blüten, und es ist dann auf kurze Zeit das düstere Grün der Rutensträucher in leuchtendes Gelb umgewandelt. Wer gerade zu dieser Zeit entlang der Küste dahinfährt, sieht seltsamerweise goldiggelbe Inseln aus dem dunkelblauen Meere sich erheben. Freilich ist dieser Blütenschmuck ein rasch vorübergehender; später hält dieser Strauch einen ausgesprochenen Sommerschlaf, und man kann sich dann nicht leicht etwas Einförmigeres und Trostloseres denken als ein solches dürres, quellenloses, mit dem Besenginster überzogenes Felseninselchen. Im nördlichen Europa ist der gemeine Besenginster (*Spartium Scarparium*) verbreitet.



Rutensträucher: 1 ein Stück des Besenginsters (*Spartium junceum*), quer durchschnitten, 30fach vergrößert; 2 ein Stück des Längerschnittes, 240fach vergrößert.

Der Besenginster gehört zu den Rutenengewächsen, welche nicht vollständig blattlos sind, sondern an den langen Reisern vereinzelte grüne, lanzettliche Blättchen entwickeln. Diese sind aber so untergeordnet, daß ihr grünes Gewebe nur zum kleinsten Teile die für den weiteren Zuwachs der Pflanze notwendige organische Substanz bilden könnte, und diese Aufgabe kommt vorwiegend der Rinde der rutenförmigen Zweige zu, die dementsprechend auch ganz eigentümlich gebaut ist. Unter der Haut, deren Zellen nach außen zu sehr dickwandig und überdies mit Wachs überzogen sind, befindet sich das grüne, transpirierende Gewebe oder Chlorenchym, welches aus 5—7 Reihen von Zellen besteht. Dieses grüne Gewebe bildet keinen zusammenhängenden Mantel rings um den ganzen Stengel, sondern wird durch strahlenförmige, aus Hartbast gebildete Leisten (s. obenstehende Abbildung) in 10—15 dicke Streifen geteilt. Unter der aus grünem Gewebe und den eingeschalteten Bastleisten gebildeten Rinde folgen dann Weichbast, Kambium, Holz und ein mächtiges Mark, welche Gewebe hier nicht weiter interessieren. Beachtenswert aber ist, daß in den grünen Streifen der Rinde des Besenginsters die mit Chlorophyll erfüllten grünen Zellen eng aneinander schließen, und daß sich nur sehr schmale Luftgänge zwischen ihnen verzweigen, daß es also hier nicht zur Bildung

eines von weiten Kanälen und Gängen durchsetzten Schwammparenchyms gekommen ist. Dagegen finden sich dort, wo das grüne Gewebe an die Haut angrenzt, verhältnismäßig große Höhlen. Über jeder Höhle liegt in der Haut eine Spaltöffnung, durch welche der von den grünen Zellen zunächst in diese Höhlen abgegebene Wasserdampf entweichen kann (s. Abbildung, S. 247, Fig. 2). Die Spaltöffnungen sind verhältnismäßig klein, aber sehr zahlreich. Da die Schließzellen der Spaltöffnungen nach außen nicht so stark verdickt sind wie die anderen Hautzellen, so erscheinen die Spaltöffnungen etwas eingesenkt. Dadurch und auch infolge des Wachstüberzuges der Hautzellen sind sie gegen Benetzung geschützt. Bei den Kasuarineen und dem strahligen Geißflee (s. Abbildung, S. 214) ist das grüne Gewebe in der Rinde der Zweige ganz ähnlich wie bei dem eben geschilderten Besenginster verteilt, nur sind dort die am Stengel hinauflaufenden Streifen aus grünem Gewebe, entsprechend der Furchung der Rinde, tief eingebuchtet. Bei einigen anderen blattlosen Rutensträuchern, so namentlich bei den Arten der Gattung Meerträubel (*Ephedra*), bildet das grüne Gewebe einen gleichmäßigen, nicht durch Bastleisten unterbrochenen Mantel rings um die Zweige. Dann sind aber auch die Spaltöffnungen gleichmäßig über den ganzen Umfang der rutenförmigen Zweige verteilt, während sie bei dem Besenginster, den Kasuarineen und dem strahligen Geißflee an jenen Stellen, wo die Haut sich über eine Leiste aus Hartbast zieht, fehlen.

Von den Rutengewächsen unterscheiden sich die Flachsproßgewächse dadurch, daß ihre Triebe nicht alle stielrund, sondern teilweise flächenförmig verbreitert und wie plattgedrückt sind. Wenn sich diese Verbreiterung auf die sogenannten Kurztriebe beschränkt, d. h. wenn an einem Stocke nur die letzten, kurzen Verzweigungen flächenförmig ausgebreitet sind, die Hauptachsen aber wie gewöhnliche Stengel stielrund bleiben, so machen solche Gebilde ganz den Eindruck von Blättern, die an stielrunden Stengeln sitzen. Die Deutung als Sprosse, welche sie von seiten der Botaniker erfahren, will dem Laien im ersten Anblicke nicht recht einleuchten. Warum sollen diese flachen, grünen Gebilde nicht Blätter, sondern Zweige sein? Betrachtet man die Abbildung auf S. 249, welche zwei Flachsproßgewächse, nämlich zwei Mäusebarnarten (*Ruscus Hypoglossum* und *aculeatus*), jede im ersten Entwicklungsstadium und zugleich im ausgewachsenen Zustande nebeneinander zeigt, so wird die Sache sofort verständlich. Man sieht an den jungen, eben erst aus dem Boden hervorgekommenen Sprossen (s. Abbildung, S. 249, Fig. 1 und 3) die wirklichen Blätter in Gestalt von bleichen, kleinen Schuppen an den rundlichen, fein gestreiften Langtrieben sitzen. Aus den Winkeln, welche diese Schuppen mit den Langtrieben bilden, entspringen dunklere, viel derbere Organe, die sich rasch vergrößern, während die sie stützenden häutigen Schuppen vertrocknen, zusammenschrumpfen und schließlich spurlos verschwinden. Da man nun die aus der Achsel von Blättern (gleichgültig, ob diese kleine, häutige Schuppen oder große, grüne Flächen sind) entspringenden Glieder nicht als Blätter, sondern als Sprosse betrachtet und bezeichnet, so werden auch diese flachen, blattähnlichen Gebilde des Mäusebarnes als Sprosse aufgefaßt und Flachsprosse oder auch mit Rücksicht auf ihre Ähnlichkeit mit Blättern Blattäste (*Phyllokladien*) genannt. Bekräftigt wird diese Auffassung wesentlich dadurch, daß sich die blattähnlichen Gebilde in der weiteren Entwicklung und Sproßfolge ganz wie gewöhnliche stielrunde Triebe oder Äste verhalten. Es entspringen nämlich aus ihnen schuppenförmige Blättchen, und aus den Achseln dieser Schuppen gehen gestielte Blüten hervor (s. nebenstehende Abbildung), die schließlich zu Früchten werden.

Gewächse, welche solche Flachsprosse entwickeln, sind im ganzen nicht sehr häufig. Die

oben als Beispiele gewählten Mäusedornarten gehören dem südlichen Europa an und wachsen dort massenhaft in lichten, trockenen Wäldern, wo im Hochsommer alles in tiefem Schläfe ruht. Auf den Antillen und auf den Grasfluren Ostindiens finden sich einige zwanzig strauchförmige Arten der zur Familie der wolfsmilchartigen Gewächse gehörenden Gattung Phyl-



Flachspressegewächse: 1 junger Trieb von *Ruscus hypoglossum*, 2 derselbe Trieb ausgewachsen, mit Blüten auf den Flachspressen; 3 junger Trieb von *Ruscus aculeatus*, 4 derselbe Trieb mit Blüten auf den Flachspressen. (Zu S. 248.)

lanthus, und auch Neuseeland beherbergt eins dieser sonderbaren Flachspressegewächse in der zu den Schmetterlingsblütlern gehörigen Gattung *Carmichaelia*. Bei den Arten dieser beiden Gattungen (s. Abbildung, S. 250) sind die Flachspresse lanzettlichen Laubblättern ungemein ähnlich, und die eigentlichen Blätter sind in kleine, bleiche Schüppchen umgebildet. Diese Schüppchen stehen an der Kante der Flachspresse, und ebenda entspringen auch aus den Achseln derselben die blüten- und fruchttragenden Stiele. Auf den Anden Südamerikas finden sich die

merkwürdigen Kolletien, von denen eine Art, nämlich *Colletia cruciata*, in der untenstehenden Abbildung, Fig. 1, dargestellt ist. Die grünen Flachsprosse, welche die Rolle der Laubblätter spielen, bilden bei ihnen sehr feste, paarweise gegenüberstehende, zusammengedrückte, in Spitzen auslaufende Organe, von welchen immer ein Paar gegen das andere um einen rechten Winkel gedreht ist, und die von diesen massiven Flachsprossen getragenen grünen Laubblättchen werden



Flachsproßgewächse: 1 *Colletia cruciata*; 2 *Carmichaelia australis*; 3 *Phyllanthus speciosus*.

wegen ihrer Winzigkeit kaum bemerkt. Wieder etwas anders verhält es sich bei dem auf den Salomoninseln heimischen Knöterich *Coccoloba platyclada* und bei dem auf der Insel Soko-tora vorkommenden *Cocculus Balfourii*. Es ist aber unmöglich, hier auf alle diese Verschiedenheiten einzugehen, und es genügt, die auffallendsten Formen der Flachsproßgewächse durch die Abbildungen auf dieser und der vorhergehenden Seite erläutert zu haben.

Wenn bei allen diesen sonderbaren Pflanzen die Zweige flächenförmig ausgebreitet sind, so kann man wohl nicht behaupten, daß die Oberfläche ihrer transpirierenden Gewebe eine

Beschränkung des Umfanges erfährt, und insofern hat allerdings diese Ausbildung mit der Herabsetzung der Transpiration nichts zu tun. Ihre Bedeutung für die Transpiration ist auch etwas anders. Sie liegt darin, daß die blattähnlichen Sprosse mit ihrer Fläche nicht wagerecht, sondern mehr oder weniger Lotrecht gerichtet sind. Im Gegensatz zur Mehrzahl der Flachblätter, die ihre Breitseite ganz dem einfallenden Lichte zuwenden, sind die Flachsprosse vertikal gestellt, so daß sie zur Mittagszeit nur einen sehr schmalen Schatten werfen und im übrigen der Sonne den Weg zum Boden nicht verwehren. Begreiflicherweise wird aber ein solches vertikal aufgerichtetes, gleichsam auf die Kante gestelltes blattartiges Gebilde viel weniger verdunsten als ein Laubblatt, dessen Fläche den zur Mittagszeit einfallenden Sonnenstrahlen ausgefetzt ist. Die Arbeit in den grünen Zellen, welche sich unter dem Einflusse des Lichtes vollzieht, wird durch diese Richtung des blattartigen Gebildes nicht beeinträchtigt. Können die vertikal gestellten grünen Flächen zur wärmsten Zeit des Tages von den Sonnenstrahlen auch weniger gut durchleuchtet werden, so wird das reichlich dadurch aufgewogen, daß deren Breitseiten dem Lichte der Morgen- und Abendsonne ausgefetzt sind. Dagegen ist zur Zeit des Sonnenauf- und -niederganges keine so starke Erwärmung und daher auch keine so starke Verdunstung zu befürchten wie dann, wenn die Sonne im Zenit steht. Man kann also zusammenfassend sagen: es wird durch die Vertikalstellung der grünen Flächen nur die Verdunstung, nicht aber auch die Durchleuchtung beschränkt, und man hat daher diese Umwandlung wohl mit Recht als Schutzmittel gegen eine zu weitgehende Verdunstung aufzufassen.

Übrigens sind die Flachsprosse nur das Vorbild für eine lange Reihe von sehr bemerkenswerten Einrichtungen, welche schließlich alle darauf abzielen, daß nicht die Breitseite, sondern die Kante oder Schmalseite des verdunstenden flächenförmigen Organes gegen den Zenit gerichtet ist.

An mehreren Platterbsen der südeuropäischen Flora, z. B. *Lathyrus Nissolia* und *Ochrus*, besonders aber an einer großen Zahl australischer Sträucher und Bäume, zumal an Akazien (*Acacia longifolia*, *falcata*, *myrtifolia*, *armata*, *cultrata*, *Melanoxydon*, *deci-piens* usw.), sind es die Stiele der Blätter, welche blattartig verbreitert und mit ihrer Fläche vertikal gestellt sind, und die Blattspreite ist dann entweder ganz verkümmert, oder sie nimmt sich nur wie ein Anhängsel an der Spitze des flachen, grünen, *Phyllodium* genannten Blattstiels aus.

Die Familien der Irideen und Kolchikazeen umfassen zahlreiche Gattungen (*Iris*, *Gladiolus*, *Ferraria*, *Witsenia*, *Montbretia*, *Tofieldia*, *Narthecium* usw.), welche mit reitenden Blättern ausgerüstet sind. Diese Blätter zeigen die Eigentümlichkeit, daß sie der Länge nach zusammengefaltet, und daß die durch Faltung aufeinander treffenden Seiten miteinander verwachsen sind. Nur dort, wo sie dem Stengel aufsitzen, bleiben die beiden Hälften getrennt und bilden eine kurze Rinne, in der die Basis des darüberstehenden Blattes wie die Messer Klinge in der Scheide geborgen ist. Jedes tieferstehende Blatt umfaßt also die Basis des darüberstehenden, es reitet auf diesem, wie die Begründer der botanischen Kunstsprache sich ausdrückten. Solche reitende Blätter sind nun mit ihren Breitseiten nicht der scheinbar einfallenden Mittagssonne, sondern den Strahlen der aufgehenden und untergehenden Sonne zugewendet.

In der Mittelmeerflora und auch auf vielen Steppen findet man nicht selten Pflanzen, deren Blätter den Eindruck machen, als hätten sie sich vom Stengel nicht recht ablösen können.

Der vom Stengel abstehende Teil des Laubblattes ist bei solchen Pflanzen nur sehr klein, dagegen ziehen sich die Ränder des Blattes als Leisten und flügelartige Säume weit am Stengel herab. Man nennt derlei Blätter, die man besonders häufig bei Korbblütlern, aber auch bei vielen Schmetterlingsblütlern und Nachenblütlern antrifft, herablaufend. Die Lage dieser senkrecht am Stengel herablaufenden Flügel zur Sonne ist ganz dieselbe wie jene der Phyllobien, Phyllokladien und reitenden Blätter, und auch ihre Bedeutung für die Transpiration ist in ähnlicher Weise zu erklären.

Bei manchen Pflanzen besitzen die Flächen der Laubblätter die vertikale Lage noch nicht im jugendlichen Zustande, sondern nehmen sie erst allmählich während ihrer Ausbildung an, d. h. die Flächen sind in der Anlage mit ihren Breitseiten nach oben und unten gekehrt, drehen sich aber später dort, wo sie am Stengel aufsitzen, in der Weise, daß ihre Ränder nach oben und unten sehen. Eine gewisse Berühmtheit hat infolge dieser merkwürdigen Schwenkung ihrer Blattspreiten die in den Prärien Nordamerikas von Michigan und Wisconsin südlich bis Alabama und Texas vorkommende, zu den Korbblütlern gehörende Staude *Silphium laciniatum* erlangt. An dieser Pflanze, welche in Fig. 1 und 2 auf S. 253 abgebildet ist, war es den Jägern in den Prärien längst aufgefallen, daß die Flächen der Blätter, namentlich jener, welche vom untersten Teile des Stengels ausgehen, nicht nur eine vertikale Lage annehmen, sondern immer auch so gerichtet sind, daß jedes Blatt die eine Breitseite nach Sonnenaufgang, die andere gegen Sonnenuntergang wendet. Die ganze lebende Pflanze, wie sie auf der sonnigen Flur steht, macht den Eindruck, als hätte man sie zwischen zwei riesige Bogen Papier gelegt gehabt, etwas gepreßt und eine Zeitlang getrocknet, wie man Pflanzen für das Herbarium präpariert, dann aber aus der Presse herausgenommen und so aufgestellt, daß die Spitzen und das Profil der vertikalen Blattflächen, entsprechend der Richtung der Magnetafel, nach Norden und Süden, die Breitseiten dagegen nach Osten und Westen gerichtet sind. Diese Richtung wird von der lebenden Pflanze auf den Prärien so gut und so regelmäßig eingehalten, daß die Jäger bei trübem Himmel sich nach dieser Pflanze über die Weltgegend zu orientieren imstande sind, aus welchem Grunde das *Silphium laciniatum* auch Kompaßpflanze genannt wurde. Für das Leben der Kompaßpflanze selbst hat die Meridianstellung ihrer vertikal aufgerichteten Blätter den Vorteil, daß die Flächen von den am kühlen und relativ feuchten Morgen und ebenso am Abend nahezu senkrecht auf sie einfallenden Sonnenstrahlen wohl durchleuchtet, aber nicht stark erwärmt und nicht übermäßig zur Transpiration angeregt werden, daß dagegen zur Mittagszeit, wenn die Blätter nur im Profil von den Sonnenstrahlen getroffen werden, auch die Erwärmung und Transpiration verhältnismäßig gering sind. Dieses *Silphium* kann als das Vorbild einer ganzen Reihe staudenförmiger Korbblütler gelten, von denen eine Art, nämlich der wilde Lattich (*Lactuca Scariola*; s. Abbildung, S. 253, Fig. 3 und 4), im mittleren und südlichen Europa, die meisten aber (*Achillea clypeolata* und *filipendulina*, *Serratula radiata*, *Tanacetum Balsamita* usw.) im südlichen Europa und im Orient verbreitet sind.

Auch an vielen australischen baum- und strauchartigen Myrtaceen und Proteaceen, namentlich an den Arten der Gattungen *Eucalyptus*, *Leucadendron*, *Melaleuca*, *Protea*, *Banksia* und *Grevillia*, sind die Blattspreiten so gewendet, daß sie auf die Kante, also vertikal gestellt sind, und nicht wie jene unserer Ahorn-, Buchen- und Ulmenbäume eine horizontale Lage einnehmen. Man denke sich nun einen ganzen Wald aus solchen Bäumen, auf den die Mittagssonne ihre Strahlen herabsendet. Ist es auch nicht gerade wörtlich zu nehmen, daß

jedes vertikal gestellte Blatt zur Mittagszeit nur einen linienförmigen Schatten wirft, so ist es doch mit dem Schatten im Grund eines derartig zusammengesetzten Waldes schlecht bestellt. Die Sonnenstrahlen finden allenthalben ihren Weg zwischen den aufgerichteten Blattflächen, gleiten hinab in die Tiefe, und von einem Waldesdunkel kann in solchen Beständen keine Rede



Rompapflanzen: 1 *Silphium laciniatum*, von Osten gesehen, 2 dieselbe Pflanze von Süden gesehen; 3 *Lactuca Scariola*, von Osten gesehen, 4 dieselbe Pflanze, von Süden gesehen. Beide Arten bedeutend verkleinert. (Zu S. 252.)

sein. Die Kasuarineen und die mit Phyllodien ausgestatteten Akazien (vgl. S. 251), welche mit den Eukalypten und Proteazeen gesellig vorkommen, tragen gleichfalls nichts bei, solche Wälder schattig zu machen, und so ist es wohl ganz gerechtfertigt, wenn man von den schattenlosen Wäldern Australiens spricht.

Ein ähnliches Verhältnis wie diese australischen Bäume und Sträucher zeigen auch zwei Linden, die unter dem Namen Silberlinden zusammengefaßt werden: *Tilia alba* und *tomentosa*. Im Sommer nehmen nämlich die Flächen ihres Laubes eine nahezu vertikale

Lage an, allerdings nur an jenen Ästen und Zweigen, welche der Sonne ausgesetzt sind. Steht der Baum am Fuß einer Felswand oder am Rand eines geschlossenen Waldes und ist ein Teil desselben beschattet, so bleiben die Blätter an diesem beschatteten Teile horizontal ausgebreitet. Da diese Erscheinung auch an den Kompasspflanzen beobachtet wird, indem auch bei diesen die Blattspreiten die vertikale Lage nur dann einnehmen, wenn sie auf unbeschatteten ebenen Land emporgewachsen sind, und da an feuchten, schattigen Orten, wo die Gefahr einer durch die kräftigen Sonnenstrahlen des Mittags eingeleiteten zu weitgehenden Verdunstung fortfällt, die Drehung und Meridianstellung der Blätter nicht eintritt, so besteht wohl kein Zweifel, daß die Vertikalstellung der Blattspreiten als Schutzmittel gegen die Gefahr einer zu weitgehenden Transpiration zu gelten hat.

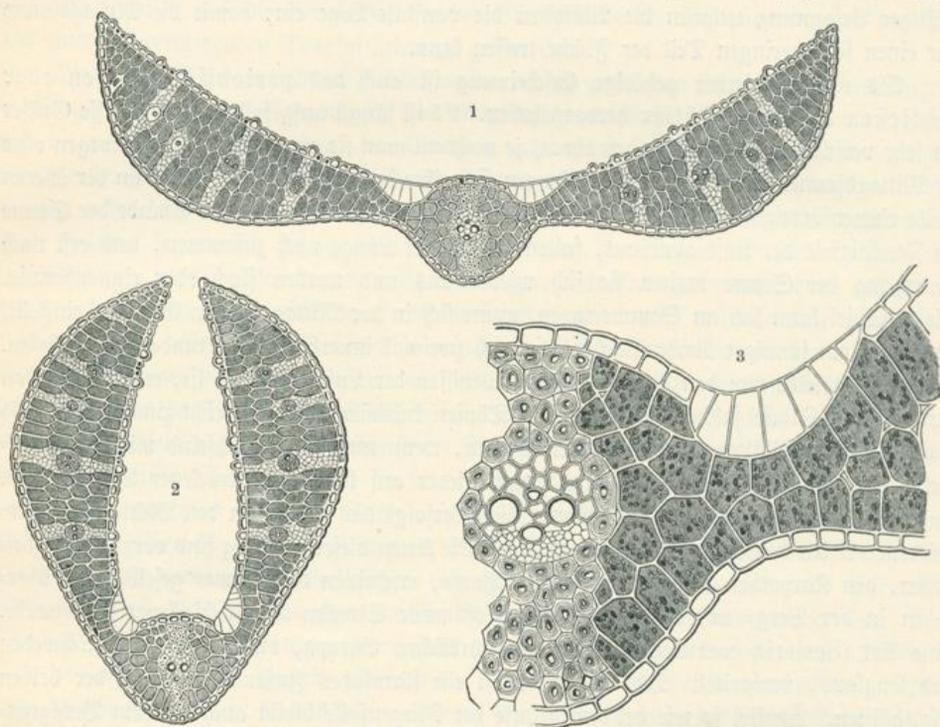
Die Richtungsänderungen der Blätter werden bei den genannten Linden durch Änderungen im Turgor bestimmter Zellengruppen des Blattstieles veranlaßt. Dieselbe Ursache erzeugt auch die periodischen Bewegungen der Blättchen zahlloser Pflanzen mit gefiedertem und gefingertem Laube, namentlich solcher aus der Familie der Leguminosen, und es liegt die Vermutung nahe, daß auch diese Bewegungserscheinungen mit der Transpiration im Zusammenhange stehen. Wenn sich infolge von Veränderungen im Turgor der Gelenkpolster die Fiederblättchen der Gleditschien und einiger Mimosen nach Untergang der Sonne aufrichten und jene der Amorphen herabschlagen und die Nacht hindurch eine vertikale Lage annehmen, so hängt das in erster Linie allerdings (wie später noch erörtert werden wird) mit der nächtlichen Ausstrahlung der Wärme zusammen. Aber ebenso gewiß hat das Zusammenlegen und Zusammenfallen der Blätter und Blättchen bei vielen dieser Pflanzen zugleich die Bedeutung eines Schutzmittels gegen die zu weitgehende Transpiration. An mehreren Sauerklee-Arten der südafrikanischen Flora, ja auch an dem verbreiteten gewöhnlichen Sauerklee (*Oxalis Acetosella*) kann man die Beobachtung machen, daß sich die drei Blättchen, sobald sie von den Sonnenstrahlen direkt getroffen werden, herabschlagen, mit der unteren Seite, welche die Spaltöffnungen enthält, aneinanderlegen und so alle drei zusammen eine steile Pyramide bilden, während dieselben Blättchen an schattig-feuchten Orten flach ausgebreitet sind. Die Blättchen des sumpfbewohnenden, durch das mittlere und südliche Europa, das gemäßigte Asien und das nördliche Amerika verbreiteten Wasserfarnes *Marsilia quadrifolia*, welche denen des Sauerklee sehr ähnlich sehen, aber die Spaltöffnungen an der oberen Seite tragen, bleiben, solange sie auf dem Wasser schwimmen, flach ausgebreitet; sobald aber der Wasserstand sinkt und die Blättchen rings von Luft umgeben werden, klappen sie im Sonnenscheine nach oben zusammen und haben dann ganz ähnlich wie die der Kompasspflanzen eine vertikale Stellung. Mehrere strauchige, dornenreiche Mimosen Brasiliens und Mexikos breiten in ihrer Heimat und an ihrem natürlichen Standort, im Gegensatz zu der bekannten Sinnpflanze (*Mimosa pudica*), die Blättchen immer erst gegen Abend horizontal aus und erhalten sie in dieser Lage die ganze Nacht hindurch. Auch am nächsten Morgen sind sie noch weit ausgebreitet. Sobald aber die Sonne emporgestiegen ist und deren Strahlen auf das Laub einfallen, klappen die Blättchen zusammen; die drohenden Dornen, welche bisher von den ausgespannten Blättern verdeckt waren, werden sichtbar, und sämtliche Blättchen verbleiben jetzt während der heißesten und trockensten Stunden des Tages in der Vertikalstellung. Erst gegen Sonnenuntergang ändern sie wieder ihre Lage und beginnen sich flach auszubreiten. Von diesem Wechselspiel findet nur dann eine Ausnahme statt, wenn das geöffnete Laub von einem Windstoß erschüttert wird, und wenn der Himmel den ganzen Tag grau ungewölkt bleibt.

Im ersteren Falle, das ist unter dem Einflusse des anprallenden Windes, findet ein rasches Schließen statt, im letzteren Falle, wenn nämlich trübes Wetter eintritt, bleiben sie auch tagüber geöffnet. Ähnlich wie diese Mimosen verhält sich auch die Rutazee *Porliera hygrometrica*. In Peru, wo diese Pflanze heimisch und sehr häufig ist, wird das Offenfein und Geschlossenfein der Blätter sogar zur Wetterprophezeiung benutzt, indem man bei geschlossenen, vertikal gestellten Blättern auf trockenes, heißes, bei offenen Blättern auf feuchtes, kühles Wetter rechnet. Bei den kultivierten Bohnen (*Phaseolus*) wird übrigens auch eine im Laufe des Tages sich an den Teilblättchen vollziehende Richtungsänderung wahrgenommen. Bei kräftiger Besonnung nehmen die Blättchen die vertikale Lage ein, damit die Mittagssonne nur einen sehr geringen Teil der Fläche treffen kann.

Als weitere hierher gehörige Erscheinung ist auch das periodische Falten oder Schließen der Grasblätter hervorzuheben. Es ist längst aufgefallen, daß gewisse Gräser ein sehr verschiedenes Aussehen gewähren, je nachdem man sie an einem tauigen Morgen oder im Mittagssonnenschein sieht. Am Morgen sind ihre langen, linealen Blätter an der oberen Seite rinnenförmig oder ganz flach ausgebreitet; sobald mit dem höheren Stande der Sonne die Feuchtigkeit der Luft abnimmt, falten sie sich der Länge nach zusammen, und erst nach Untergang der Sonne breiten sie sich wieder aus und werden flach oder rinnenförmig. Dieses Spiel kann sich an Sommertagen, wenn sich in der Mittagszeit ein Gewitter einstellt, dem dann ein sonniger Nachmittag folgt, auch zweimal innerhalb 24 Stunden wiederholen. Wie sehr dasselbe von den Feuchtigkeitsverhältnissen der Luft abhängig ist, ergibt sich schon daraus, daß Stöcke solcher Gräser, die in Töpfen kultiviert werden, leicht zum Öffnen und Schließen ihrer Blätter gebracht werden können, wenn man sie abwechselnd mit Wasser bespritzt und in feuchte Luft stellt und dann wieder auf kurze Zeit trockener Luft aussetzt. Ungemein rasch und auf sehr interessante Weise erfolgt das Falten an den Blättern der verschiedenen Arten des Berggrases (*Sesleria*). Die Arten dieser Gattung sind vorzüglich in den Alpen, den Karpathen und im Balkan zu Hause, erscheinen dort immer gesellig und überziehen in der Berg- und Hochgebirgsregion oft weite Strecken mit geschlossener Grasnarbe. Eine Art (*Sesleria coerulea*) ist auch im nördlichen Europa, durch Finnland, Schweden und England, verbreitet. Das Schließen ist ein förmliches Zusammenklappen der beiden Blatthälften. Ähnlich so wie bei dem Blatte der Fliegenfalle bleibt auch bei dem Berggrasblatte die Mittelrippe in ihrer Lage unverändert, wie dort legen sich auch hier die beiden Hälften nicht platt aufeinander, sondern richten sich nur steil auf und lassen zwischen sich einen schmalen, tiefrinnigen, unten etwas ausgeweiteten Hohlraum frei (s. Abbildung, S. 256, Fig. 1 und 2). Während das offene Blatt seine obere, an Spaltöffnungen reiche Seite dem Himmel zuwendet, erscheinen die Flächen der aufgerichteten beiden Hälften an dem zusammengefalteten, geschlossenen Blatte den einfallenden Sonnenstrahlen parallel, und das gefaltete Berggrasblatt ist dann dem reitenden Blatt einer Schwertlilie zu vergleichen. In dem durch das Zusammenfallen entstandenen Hohlraum aber sind die Spaltöffnungen und das daran grenzende grüne Gewebe sowohl gegen die Sonnenstrahlen als auch gegen die direkte Wirkung des Windes trefflich geschützt. Die Haut der Rückseite, welche an dem zusammengefalteten Blatte der Verdunstung ausgesetzt ist, entbehrt der Spaltöffnungen und ist auch mit einer derben Kutikula versehen.

Ganz ähnlich wie an den Berggräsern beobachtet man das Zusammenfallen längs der Mittelrippe an den Blättern des auf sonnigen Gebirgswiesen in den Sudeten und Karpathen

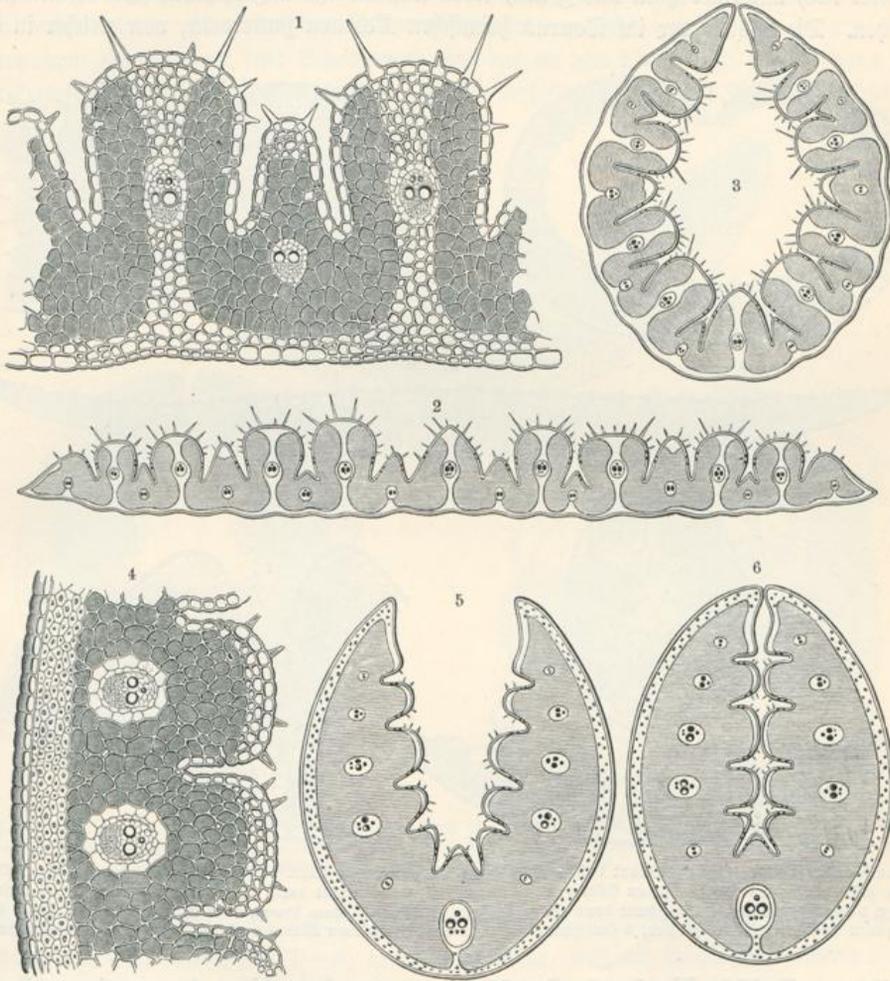
vorkommenden plattalmigen Hafers (*Avena planiculmis*), des zusammengedrückten Hafers (*Avena compressa*) und noch mehrerer anderer mit diesen verwandter Haferarten. Etwas abweichend dagegen vollzieht sich die Faltung oder das Schließen an den Blättern der umfangreichen Abteilung der Schwingelgräser (*Festuca*). Während nämlich bei den Berggräsern die ganze obere Seite des offenen Blattes nur eine einzige flache Rinne bildet und die Faltung nur längs der Mittelrippe stattfindet, beobachtet man an der oberen Seite der Schwingelgrasblätter mehrere parallele längsläufige Rinnen. Das grüne Gewebe ist durch diese Rinnen in vor springende Kiefen geteilt, die einen überaus merkwürdigen Bau zeigen. In jeder



Zusammenfalten der Grassblätter: 1 Querschnitt durch ein geöffnetes Blatt des dünnblättrigen Berggrases (*Sesleria tenuifolia*), 2 Querschnitt durch ein geschlossenes Blatt derselben Pflanze, 40fach vergrößert, 3 Stück aus der Mitte eines geöffneten Blattes derselben Pflanze, 300fach vergrößert. (Zu S. 255.)

Kiefe kann man die Basis, welche einen Teil der Rückseite des ganzen Blattes bildet, dann die gegenüberliegende Scheitellante, welche der Oberseite des ganzen Blattes angehört, und endlich die beiden Seitenflächen, zwischen denen die Rinnen liegen, unterscheiden (s. Abbildungen, S. 258 und 259). Die Hauptmasse jeder Kiefe wird aus grünem Gewebe gebildet. Die Spaltöffnungen münden aber nur an den Seiten gegen die Rinne zu. Die Scheitellante ist chlorophyllös und zeigt unter den Hautzellen fast immer ein Gewebe von langgestreckten Zellen mit festen, elastischen Wandungen; dasselbe gilt von der Rückseite des Blattes, d. h. der Basis der Kiefen, welche aus einer oder mehreren Lagen chlorophyllöser, mit derben Wänden versehenen Zellen gebildet wird. Das Schließen des Blattes ist hier nicht so einfach wie bei den Berggräsern. Dort wird beim Zusammenfalten des Blattes nur eine einzige tiefe, unten ausgeweitete Rinne gebildet; bei den Schwingelgräsern verengern sich dagegen

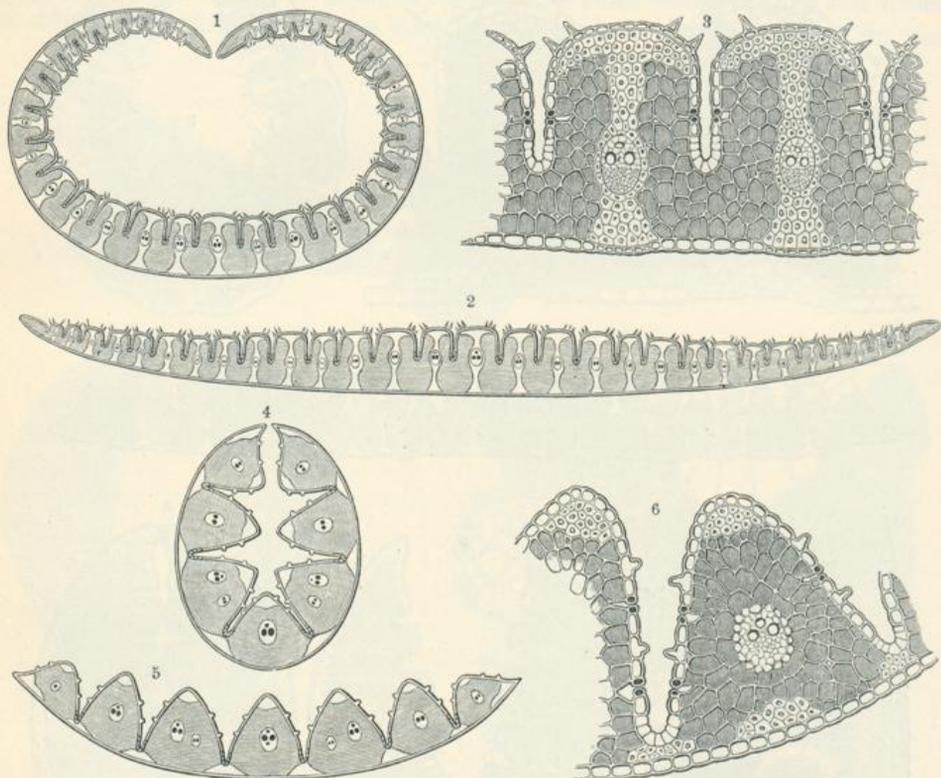
infolge des Schließens des Blattes sämtliche kleinen Rinnen, welche zwischen den Riefen eingeschaltet sind (s. Abbildung, S. 259, Fig. 2). Da die Spaltöffnungen an den Seiten der Riefen liegen, wird begreiflicherweise durch das Zusammenschließen der gegenüberliegenden Seiten jeder Rinne die Transpiration aufs äußerste beschränkt.



Zusammenfallen der Grasblätter: 1 Querschnitt durch ein Stück des offenen Blattes von *Stipa capillata*, 240fach vergrößert, 2 Querschnitt durch ein offenes ganzes Blatt derselben Pflanze, 3 Querschnitt durch ein geschlossenes Blatt derselben Pflanze, 30fach vergrößert; 4 Querschnitt durch ein Stück des offenen Blattes von *Festuca alpestris*, 210fach vergrößert, 5 Querschnitt durch ein ganz offenes Blatt derselben Pflanze, 6 Querschnitt durch ein geschlossenes Blatt derselben Pflanze, 30fach vergrößert. (Zu S. 258—260.)

Im einzelnen findet man bei den verschiedenen Schwingelgräsern noch die mannigfaltigsten Abweichungen sowohl in der Zahl und Form der Riefen als auch in betreff der Ausbildung der Rückseite des Blattes und vorzüglich in der Gestalt, welche das Blatt im geöffneten Zustand annimmt. Es gibt eine Menge Schwingelgräser in Spanien, in den Alpen, im Taurus und Elbrus. Diese bilden auch dann, wenn sie bei feuchtem Wetter geöffnet sind, doch nur eine ziemlich schmale Hauptrinne mit mehreren engen Teilrinnen,

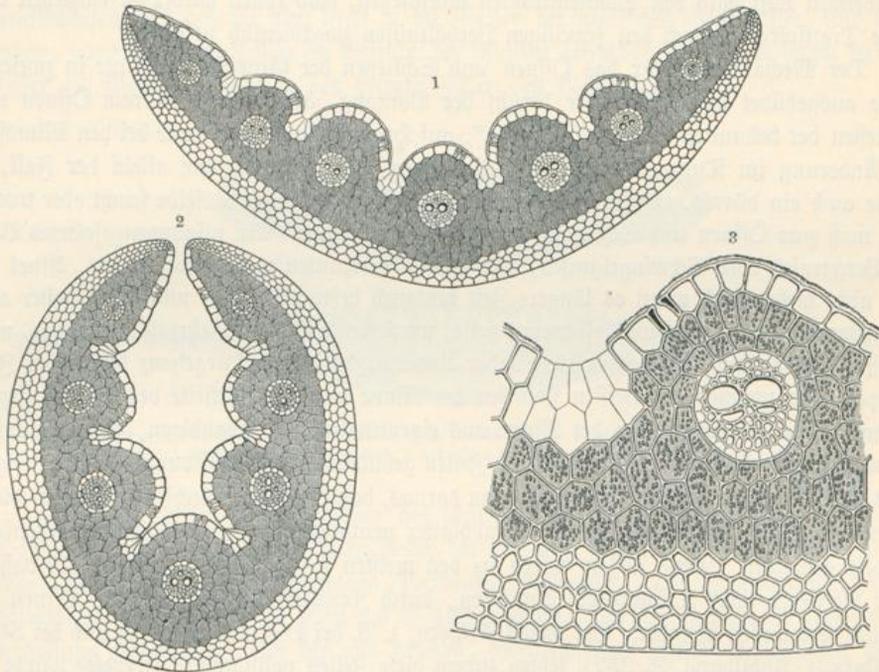
wie an dem Querschnitt eines offenen Blattes der in den südlichen Alpen häufigen *Festuca alpestris* (s. Abbildung, S. 257, Fig. 5) zu sehen ist. Der flache Scheitel jeder Kiefe trägt bei dieser *Festuca alpestris* einen Beleg von drei Schichten chlorophyllloser Zellen, und die Rückseite des Blattes ist mit einem förmlichen Panzer aus dickwandigen Bastzellen und überdies noch mit einer Haut aus Zellen, deren Außenwände ungewöhnlich stark verdickt sind, versehen. Die Blätter der im Taurus heimischen *Festuca punctoria*, von welcher in der



Zusammenfallen der Grassblätter: 1 Querschnitt durch ein geschlossenes Blatt der *Lasiagrostis Calamagrostis*, 2 Querschnitt durch ein offenes Blatt derselben Pflanze, 24fach vergrößert, 3 Querschnitt durch ein Stück des offenen Blattes derselben Pflanze, 210fach vergrößert; 4 Querschnitt durch ein geschlossenes Blatt der *Festuca Porcii*, 5 Querschnitt durch ein offenes Blatt derselben Pflanze, 24fach vergrößert, 6 Querschnitt durch ein Stück des offenen Blattes derselben Pflanze, 210fach vergrößert.

Abbildung, S. 259, Fig. 1—3, Querschnitte gegeben sind, bilden dagegen im geöffneten Zustand eine ziemlich flache Rinne; die Rückseite ist mit einem aus vier bis fünf Lagen chlorophyllloser, fester Zellen gebildeten, schützenden Mantel bekleidet; die Kiefen sind abgerundet, zeigen nur eine einfache Lage von Hautzellen, und diese sind mit einem auffallend starken wachsartigen Überzug versehen. Am flachsten sind die geöffneten Blätter der in den siebenbürgischen Karpathen heimischen *Festuca Porcii* (s. obenstehende Abbildung, Fig. 4—6). Unter der Haut an der Rückseite findet sich kein geschlossener Mantel aus Bastzellen wie bei den früher besprochenen Arten, sondern nur einzelne Bastbündel; dagegen ist die Scheitelfante jeder Kiefe mit einem Beleg aus Bastzellen versehen; die Kiefen selbst springen sehr stark vor, und das ganze Blatt ist von sechs tiefen und engen Rinnen durchzogen.

Bei diesen drei als Beispiele vorgeführten Schwingelgräsern wie auch bei allen anderen Arten dieser Gattung, die einen Hauptbestandteil der Grasnarbe auf unseren Wiesen bilden, zieht durch jede Riefe ein Gefäßbündel, das ringsum von grünem Gewebe umschlossen ist. Bei den sich schließenden Blättern vieler anderer Gräser ist dagegen das grüne Gewebe jeder Riefe in zwei Hälften geteilt. Indem sich oben und unten an das Gefäßbündel Stränge von dickwandigen, chlorophyllosen Zellen anschließen, entsteht nämlich eine in das grüne Parenchym eingeschobene feste Scheidewand, wie das an dem Querschnitt eines Blattes vom Rauhgrase (*Lasiagrostis Calamagrostis*) in der Abbildung, S. 258, Fig. 1—3, schön zu



Zusammenfallen der Grasblätter: 1 Querschnitt durch ein offenes Blatt der *Festuca punctatoria*, aus dem Taurus, 2 Querschnitt durch ein geschlossenes Blatt derselben Pflanze, 40fach vergrößert, 3 Querschnitt durch ein Stück des offenen Blattes derselben Pflanze, 280fach vergrößert. (Zu S. 257—260.)

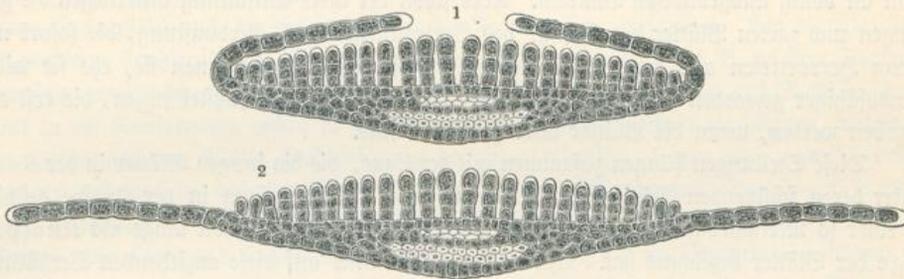
sehen ist. An den Blättern des Pfriemengrases (*Stipa capillata*), von welchem die Abbildung auf Seite 257, Fig. 1—3, Querschnitte zeigt, wechseln höhere und niedere Riefen ab; in den höheren ist eine Scheidewand ganz ähnlich wie bei den Rauhgräsern eingeschoben, in den niederen dagegen ist nur ein ringsum von grünem Gewebe eingefasstes Gefäßbündel wie bei den Schwingelgräsern eingelagert. An dem genannten Rauhgrase, das in den Tälern der westlichen und südlichen Alpen weit verbreitet ist und dort die sonnigen Gehänge in dichtem Schluß überzieht, zählt man nicht weniger als 29 Riefen. Schließt sich das Blatt, so verengern sich die dazwischen liegenden 28 Rinnen, an deren Seiten die Spaltöffnungen liegen, das ganze Blatt wird zu einer Röhre, und die Transpiration ist dadurch nahezu ganz aufgehoben. Bei der auf Lehmsteppen häufig vorkommenden *Stipa capillata* verhält es sich ähnlich. Bei beiden Gräsern wird der Verschluss der Rinnen, an deren Seiten sich die Spaltöffnungen finden, noch dadurch vervollkommenet, daß von dem Scheitel jeder

Riefe kurze, steife Härchen ausgehen, welche bei der Näherung der Riefen ineinandergreifen und den Zugang zur Rinne schützen (s. Abbildung, S. 257, Fig. 3). Die zahlreichen weiteren Modifikationen, welche im Bau der sich schließenden Grasblätter vorkommen, zu beschreiben, würde hier nicht am Platze sein. Die gegebenen Beispiele genügen, um zu zeigen, wie der Gefahr einer zu weitgehenden Verdunstung durch das Zusammenfallen der Blätter begegnet wird, und wie der im Reiche der Gräser so häufige Vorgang darauf hinausläuft, diejenigen Teile des Blattes, welche aus grünem Gewebe bestehen, und über denen die Haut mit Spaltöffnungen versehen ist, entsprechend dem Feuchtigkeitsgrade des Bodens und der umgebenden Luft bald den Sonnenstrahlen auszusetzen, bald ihnen wieder zu entziehen und so die Transpiration nach den jeweiligen Verhältnissen zweckdienlich zu regeln.

Der Mechanismus für das Öffnen und Schließen der Grasblätter könnte in zweierlei Weise ausgebildet sein. Entweder beruht der Vorgang, ähnlich wie bei dem Öffnen und Schließen der bekannten „Rose von Jericho“, auf Hygroscopizität oder, wie bei den Mimosen, auf Änderung im Turgor bestimmter Zellgruppen. Wäre das erstere allein der Fall, so müßte auch ein dürres, abgestorbenes Grasblatt, je nachdem man dasselbe feucht oder trocken hält, noch zum Öffnen und Schließen gebracht werden können. Ein zusammengefaltetes Blatt des Berggrases oder Schwingelgrases, das man abgeschnitten und getrocknet hat, öffnet sich aber nicht mehr, auch wenn es längere Zeit hindurch befeuchtet wird, und es ist daher auch anzunehmen, daß die erstere Erklärungsweise, wenigstens für die Mehrzahl der Fälle, nicht zutrifft. Allem Anscheine nach wirken daher Änderungen in der Turgeszenz derjenigen Zellgruppen, die zwischen den tiefsten Punkten der Rinne und der Rückseite des Blattes liegen. Da man sehr oft den Boden der Rinne aus eigentümlichen zartwandigen, chlorophyllosen, mit wässerigem, farblosem Saft gefüllten Zellen gebildet fand (s. Abbildung, S. 256, Fig. 1 bis 3, und S. 259, Fig. 1—3), schloß man daraus, daß durch den Wechsel im Turgor dieser Zellen das Schließen und Öffnen der Grasblätter veranlaßt werde. Das ist aber jedenfalls zu weit gegangen. Diese Zellen wären in den meisten Fällen viel zu schwach, als daß sie durch Verlieren ihres Turgors ein Schließen, durch Zunahme des Turgors ein Öffnen des Blattes veranlassen könnten. Bei vielen Gräsern, z. B. bei *Festuca alpestris* und bei *Stipa capillata* (s. Abbildung, S. 257), fehlen zudem diese Zellen vollständig. Überdies wurde beobachtet, daß das Schließen und Öffnen des Blattes auch dann noch ganz gut vonstatten geht, wenn die den Grund der Rinnen auskleidenden dünnwandigen Zellen mittels feiner Nadeln künstlich zerstört wurden. Es muß daher die Ursache der Bewegung in der Änderung der Turgeszenz anderer Zellen unterhalb der Rinne gesucht werden. Wo ein aus mehreren Lagen dickwandiger Zellen gebildeter Mantel an der Rückseite des Blattes ausgebildet ist, wie z. B. an *Festuca alpestris* und *punctoria* (s. Abbildungen, S. 257 und 259), dürfte mit der Änderung des Turgors in den parenchymatischen Zellen auch eine Quellung der Zellhäute des Mantels an der Rückseite des Blattes Hand in Hand gehen. Freilich müßten dann die inneren Zellenlagen des Mantels stärker quellbar sein als die äußeren, was auch für einige Arten tatsächlich nachgewiesen wurde.

Wenn übrigens den zartwandigen Zellen im Grunde der einzelnen Furchen die Kraft abgesprochen wird, für sich allein durch Änderung ihres Turgors das Öffnen und Schließen zu bewirken, so ist damit durchaus nicht behauptet, daß sie gar keine Rolle zu spielen haben. Wo sie so ausgebildet erscheinen, wie es an den Blättern der Berggräser und des Schwingelgrases vom Taurus (*Festuca punctoria*) in den Abbildungen S. 256 und 259 zu sehen

ist, sind sie gewiß nicht bedeutungslos. Der Vorteil liegt darin, daß diese dünnwandigen Zellen beim Schließen des Blattes, ohne einen Nachteil zu erleiden, stark zusammengedrückt werden können, wodurch die angrenzenden grünen Parenchymzellen vor Zerrung geschützt werden, ferner auch darin, daß durch sie im Notfall atmosphärisches Wasser aufgenommen werden kann. Sie erinnern lebhaft an die dünnwandigen Zellgruppen der Laubblätter, welche auf S. 174 besprochen wurden, und können auch wie diese wirksam sein. Wenn dort, wo die fraglichen Gräser heimisch sind, nach längerer Dürre einmal ein flüchtiger Regen oder in hellen Nächten Tau fällt, so wird von diesen Niederschlägen wenig oder nichts zu den Wurzeln kommen; denn das Wasser wird von den Blättern der den Boden überkleidenden Gewächse zurückgehalten. Es gelangt aber leicht in die Rinnen der gefalteten Grasblätter, und da die großen, dünnwandigen Zellen im Grunde der Rinnen benetzbar sind, kann durch diese das Wasser auf kürzestem Wege zu den grünen Zellen des Blattes gelangen.



Zusammenfallen der Moosblätter: Querschnitte durch das Blatt eines Widertonmooses (*Polytrichum commune*), 1 das Blatt trocken und zusammengefallen, 2 das Blatt befeuchtet und offen. 85fach vergrößert.

Ein dem Öffnen und Schließen des Grasblattes ganz ähnlicher Vorgang wird auch bei Laubmoosen, und zwar bei allen Arten der Gattung Widerton (*Polytrichum*) und bei einigen Arten der Gattung Bartmoos (*Barbula*), beobachtet. Der eigentümliche Bau der Blättchen dieser Moose wurde schon auf S. 199 erwähnt. Im Anschluß an die dort gegebene Darstellung sei ergänzt, daß die aus grünen, dünnwandigen Zellen aufgebauten Leisten, welche die obere Seite eines jeden Blättchens schmücken, nur so lange dem Anpralle bewegter Luft ausgesetzt bleiben, als diese entsprechend feucht ist. Nur so lange bleibt nämlich die Spreite der Blättchen flach ausgebreitet (s. obenstehende Abbildung, Fig. 2). Sowie die Luft trockener wird, biegen sich sofort die seitlichen Ränder des Blättchens auf und bedecken wie ein Mantel die grünen Leisten (Fig. 1). Diese sind dann in einer Hohlkehle eingebettet, und nur nach oben, wo die aufgebogenen Ränder einen schmalen Spalt offen lassen, bleibt noch die Verbindung mit der umgebenden Luft erhalten. Aber auch da ist noch die Einrichtung getroffen, daß an den obersten Zellen jeder Leiste der gegen den Spalt hin gewendete Teil stark verdickt ist, was zweifellos dazu beiträgt, die Transpiration herabzusetzen. Das Öffnen und Schließen der Blättchen dieser Moose erfolgt ungemein rasch; es kann sich bei wiederholtem Wechsel der Luftfeuchtigkeit mehrere Male an einem Tag abspielen. An Widertonmoosen, welche man abplückt, während ihre Blättchen geöffnet sind, kann man das Schließen in trockener Luft innerhalb weniger Minuten sich vollziehen sehen. Abgestorbene und vertrocknete Blättchen sind immer geschlossen. Wenn man diese auch längere Zeit feucht hält, so öffnen sie sich nicht wieder, woraus man entnehmen kann, daß hier bei dem Öffnen und Schließen

außer dem Wechsel von Feucht und Trocken auch noch andere Umstände mitwirken. Wahrscheinlich treten hier dieselben Kräfte ins Spiel, welche das Zusammenfallen der Grasblätter bewirken; nur ist der Vorgang bei den Moosblättchen noch weit verwickelter, da es bei diesen mit dem bloßen Aufbiegen der Ränder nicht abgetan ist, sondern gleichzeitig auch eine Emporkrümmung und eine schraubige Drehung des ganzen Blättchens stattfindet.

6. Die Transpiration in den verschiedenen Jahreszeiten.

Junge und alte Blätter.

Die bisher in langer Reihenfolge geschilderten Regulatoren der Transpiration beobachtet man an völlig ausgebildeten Blättern. Aber schon bei ihrer Entfaltung unterliegen die ganz jungen und zarten Blätter der Gefahr des Vertrocknens durch Verdunstung, die sofort nach ihrem Hervortreten aus der Knospe beginnt. Dieser Ungunst begegnen sie, ehe sie widerstandsfähiger geworden sind, durch Annahme ganz besonderer Schutzstellungen, die erst aufgegeben werden, wenn die Blätter älter geworden sind.

Diese Stellungen hängen zusammen mit der Lage, die die jungen Blätter in der Knospe unter deren schützenden Schuppen einnehmen. Die Unterbringung in der Knospe geschieht in einer so merkwürdigen und eigenartigen Form, daß man sie schon lange als Knospelage der Blätter bezeichnet hat. Wir wollen einen Blick auf diese anziehenden Verhältnisse werfen und daran die Betrachtung der Entfaltung der jungen Blätter selbst anschließen. In der Knospe ist der Raum sehr beschränkt, aber die jüngsten und kleinsten Blätter erscheinen diesem Raume dadurch angepaßt, daß ihre Fläche zusammengerollt, gefaltet oder runzelig ist. Diese Form ist auch noch erkennbar zu der Zeit, wenn die Blätter an das Tageslicht hervorkommen; sie erscheint als ein ausgezeichnetes Schutzmittel gegen Vertrocknung des grünen Gewebes und wird daher so lange beibehalten, als andere Schutzmittel noch nicht ausgebildet sind, ja sie bleibt zuweilen auch am älteren Blatt noch erhalten. Die Rollung der Blattfläche, welche das grüne Gewebe bildet, findet man bei mehreren Knöterichen (z. B. *Polygonum viviparum* und *Bistorta*), bei den Arten der Gattung Pestwurz (*Petasites*), einigen Primeln und besonders vielen Zwiebelgewächsen, Aroideen und Bananen. Die Mittelrippe oder oft sogar ein ziemlich breiter mittlerer Streifen des Blattes bleibt gerade, die rechts und links liegenden beiden Hälften aber erscheinen von den Rändern her eingerollt, und zwar bald nach der Oberseite, bald nach der Rückseite. Immer wird jene Seite zur konkaven, an der sich die Spaltöffnungen ausschließlich oder vorherrschend finden, so daß diese geschützt sind. Bei den Safranen (*Crocus*) sind die beiden Hälften des Blattes auswärts gerollt und durch einen breiten weißen, chlorophyllfreien, in die Rollung nicht einbezogenen Mittelstreifen verbunden. An den Milchsternen (*Ornithogalum*), deren Blätter von einem ähnlichen weißen Streifen durchzogen sind, erscheinen die beiden Hälften einwärts gerollt. Bei den Safranarten liegen eben die Spaltöffnungen in den zwei Rinne an der Rückseite, bei den Milchsternen in der Rinne an der Oberseite des Blattes. Die jungen Blätter der Zykadeen sowie die Bedel der Farne sind gleich einer Uhrfeder spiralig nach einwärts gerollt, wobei dann auch die von der Mittelrippe ausgehenden, mit Spaltöffnungen versehenen, grünen, fiederförmigen Abschnitte übereinandergelegt sind.

Weit seltener als die Kollung sieht man an den aus den Knospen hervorbrechenden Blättern die Runzelung. Die netzförmig verbundenen Blattrippen bilden ein festes Gitter, das grüne, die Maschen des Gitters ausfüllende Blattgewebe erscheint teils blasenförmig aufgetrieben, teils grubenförmig vertieft, und das ganze Blatt macht den Eindruck eines zerfnitterten Tuches oder eines zerfnitterten Papierbogens. Besonders auffallend sind die jungen gerunzelten Blätter mehrerer Frühlingsprimeln (z. B. *Primula acaulis*, *elatior* und *denticulata*) und jene von *Gunnera* und *Rheum*. Manchmal kommen Runzelung und Kollung gleichzeitig vor, so daß die in der Knospenlage gerunzelten Blätter mit ihren Rändern auch etwas nach abwärts gerollt sind.

Am häufigsten findet man an den noch in der Knospenlage befindlichen, eben hervorsprießenden jungen Blättern die Faltung. Die Rippen des Blattes bilden hierbei gleichsam die feststehenden Orientierungslinien, und nur das grüne Blattgewebe zwischen den Rippen ist in Falten gelegt. Bei der Mannigfaltigkeit in der Form und Verteilung der Blattrippen ist natürlich auch die Art und Weise der Faltung sehr verschieden. Wo die Blattfläche von mehreren strahlenförmig verlaufenden Rippen durchzogen ist, wie z. B. bei dem Taubehcher oder Frauenmäntelchen (*Alchimilla vulgaris*) in Fig. 7 der Abbildung auf S. 265, ist das Blatt in der Knospenlage genau so zusammengefaltet wie ein Fächer; die Rippen, welche bei dem ausgewachsenen Blatte strahlenförmig auseinanderlaufen, liegen noch parallel nebeneinander, und das im ausgewachsenen Blatte zwischen den Rippen ausgespannte grüne Blattgewebe bildet noch tiefe, dicht aufeinanderliegende Falten. Ähnlich verhält es sich bei den Fingerkräutern, den Klee- und Sauerfleearten (Fig. 8), wo jede der strahlenförmigen Rippen die Mittellinie eines Blattabschnittes darstellt. Jedes Teilblättchen ist entlang der Mittelrippe zusammengefaltet wie ein Bogen Papier, und diese gefalteten Blättchen liegen dann so aneinander wie die gefalteten Bogen in einem Buche.

Auch dann, wenn die Laubblätter fiederförmig sind, und wenn die Teilblättchen paarweise von einer gemeinsamen Spindel ausgehen, wie z. B. bei dem Vogelbeerbaume (*Sorbus Aucuparia*) und der Walnuß (*Juglans regia*; s. Abbildung, S. 265, Fig. 3 und 4), erscheinen sie längs ihrer Mittelrippe zusammengefaltet und wie in einem Buch aufeinandergelegt. An den meisten Ahornblättern sowie den Blättern von *Saxifraga peltata* findet die Faltung nicht nur längs der strahlig verlaufenden, sondern auch längs der an diese sich ansetzenden kurzen Seitenerven statt. Sehr zierlich ist die Faltung, welche die Laubblätter der Buche (*Fagus*; s. Abbildung, S. 268, Fig. 2—8), der Hainbuche und Hopfenbuche (*Carpinus*, *Ostrya*), der Eiche (*Quercus*) und Kastanie (*Castanea*) in der Knospenlage zeigen. Jedes Laubblatt dieser Bäume ist von einer Mittelrippe und zahlreichen von dieser nach rechts und links gleich den Gräten von der Wirbelsäule eines Fisches auslaufenden kräftigen Seitenrippen besetzt. Das grüne Blattgewebe bildet zwischen diesen nebeneinanderliegenden Seitenrippen tiefe Falten, welche ganz so wie die Falten eines Fächers aufeinanderliegen. Wie anders erscheint die Faltung bei dem Kirschbaume (*Prunus avium*). Hier ist jedes Blatt in der Knospe und auch noch geraume Zeit, nachdem es aus der Knospe sich vorgedrängt hat, nur längs der Mittelrippe gefaltet (s. Abbildung, S. 265, Fig. 1 und 2). Die rechte und linke Hälfte desselben liegen so platt aneinander und decken sich so vollständig, daß man beim ersten Anblicke nur eine einfache Blattfläche vor sich zu haben glaubt. Überdies sind sie in diesem Entwicklungsstadium immer aufrecht, und das führt uns auf die schon oben erwähnte Einrichtung, welche bei jugendlichen unausgewachsenen Blättern beobachtet wird.

Man kann wohl sagen, daß die meisten jugendlichen Laubblätter, wenn sie aus den Knospenhüllen oder zwischen den Keimblättern hervorkommen oder aus unterirdischen Sprossen über die Erde emporsprießen, eine vertikale Lage besitzen; ihre Flächen zeigen auch häufig jene Profilstellung, welche an den Phyllokladien und Phyllocladien, an den Kompaßpflanzen und an den zusammengefalteten Blättern der Gräser beobachtet wurde. Entweder sind die jungen, zusammengerollten Blätter aufgerichtet, wie bei dem Maiglöckchen, den Bananen, Aroiden und den meisten Zwiebelpflanzen, oder die Lage der Mittelrippe des Blattes ist zwar gegen den Horizont geneigt, aber die Blatthälften sind zusammengeklappt, und die beiden aneinander schließenden Blattränder bilden eine den Strahlen der Mittagssonne zugewendete Kante, wie das beispielsweise bei mehreren Gräsern (z. B. *Glyceria*) und bei dem Kirschbaume (*Prunus avium*) der Fall ist, oder der Stiel des Blattes ist lotrecht aufgerichtet und die noch zarte Spreite über denselben ähnlich einem zusammengezogenen Sonnenschirme herabgeschlagen, wie bei *Podophyllum*, *Cortusa*, *Hydrophyllum* und mehreren Ranunkulazeen. Bei der Roßkastanie (*Aesculus Hippocastanum*) sind die zusammengefalteten Abschnitte der sich aus den Knospen hervorschließenden Blätter aufrecht, dann schlagen sie sich herab, so daß ihre Spitzen der Erde zugewendet sind, und später, wenn die Oberhaut mehr verdickt ist, heben sie sich wieder so weit, daß sie nahezu parallel zur Erdoberfläche stehen. Auch die Blätter der Linden (*Tilia grandifolia* und *parvifolia*) sind, wenn sie aus den Knospen hervorkommen, vertikal gestellt und mit der Spitze der Erde zugewendet und nehmen erst später eine nahezu horizontale Lage ein. Manchmal ist auch der senkrecht emporkwachsende Blattstiel oben hakenförmig umgebogen, und die zusammengefalteten, vertikal gestellten Blättchen hängen an dem zurückgekrümmten Ende desselben, wie das z. B. der gewöhnliche Sauerklee und noch zahlreiche andere Pflanzen zeigen (s. Abbildung, S. 265, Fig. 8).

Sehr häufig erhalten die zarten jungen Blätter einen Schutz durch sogenannte Nebenblätter. Dort, wo das Laubblatt am Stengel entspringt, befinden sich nämlich bei sehr vielen Pflanzen rechts und links am Blattstiele zwei Blättchen, die man Nebenblätter nennt. Diese Nebenblätter sind bei den Feigenbäumen, bei den Eichen, Buchen, Linden, Magnolien, Zekropien und zahlreichen anderen Gewächsen häutig, bleich, meist ohne Chlorophyll und stellen Schuppen dar, die sich gleich Schirmen vor die aus der Knospe hervordringenden kleinen, zarten, grünen Blättchen stellen und jedenfalls auch als Schirme gegen die Sonnenstrahlen aufzufassen sind (s. Abbildung, S. 265, Fig. 3). Ist das junge Blatt diesen Schirmen einmal über den Kopf gewachsen, und bedarf es ihrer nicht weiter, so welken sie, lösen sich ab und fallen zu Boden. Im Grunde der Eichen- und Buchenwälder findet man, kurz nachdem die Laubblätter ihre normale Größe erreicht haben, Milliarden solcher abgefallener Schuppen, die man in der botanischen Kunstsprache „hinfallige Nebenblätter“ genannt hat. Sehr auffallend sind die Nebenblätter der Magnoliaceen, zumal des in Nordamerika heimischen, jetzt aber allenthalben auch in Europa kultivierten Tulpenbaumes (*Liriodendron tulipifera*), die in der Abbildung auf S. 267 dargestellt sind. Sie sind verhältnismäßig groß, schalenförmig, und je zwei derselben sind so aneinander gelegt, daß sie eine Blase darstellen. In dieser häutigen, etwas durchscheinenden Blase eingeschlossen sieht man das junge Blatt, dessen Stiel hakenförmig gekrümmt ist, und dessen Flächen ähnlich jenen des Kirschbaumes längs der Mittelrippe zusammengefaltet sind. Das Blatt wächst allmählich heran, vergrößert sich, und wenn dann die Hautzellen einmal so weit verdickt sind, daß die Gefahr des Vertrocknens abgewendet ist, dann öffnet sich die Blase, die beiden schalenförmigen Nebenblätter

treten auseinander, schrumpfen zusammen und fallen schließlich ab. Nur zwei Narben an der Basis des Blattstiels erinnern später noch daran, daß hier im Frühling zwei große, schalenförmige Schutzorgane saßen, welche das zarte, junge Blatt zu schützen hatten.

Wenn die Blätter an den jungen Zweigspitzen gegenständig, aufgerichtet und konkav sind und sich mit ihren Rändern berühren, wie das an dem wolligen Schneeball (*Viburnum Lantana*) der Fall ist, so bilden sie ein die Spitze des Sprosses umschließendes förmliches



Laubentfaltung: 1, 2 des Kirschbaumes (*Prunus avium*); 3, 4 des Walnußbaumes (*Juglans regia*); 5, 6 des wolligen Schneeballes (*Viburnum Lantana*); 7 des Frauenmüchelchens (*Alchimilla vulgaris*); 8 des Sauerlees (*Oxalis Acetosella*). (Zu S. 263—265.)

Gehäuse (s. obenstehende Abbildung, Fig. 5). Die schwachen Falten aus grünem Gewebe springen gegen den Innenraum des Gehäuses vor; die noch dicht zusammengedrückten Seitenrippen dagegen bilden die Außenwand des Gehäuses und dadurch vortreffliche Schutzhüllen für das grüne Blattgewebe. Während dieses heranwächst, wobei die Hautzellen entsprechend verdickt werden, glätten sich die einspringenden Falten, die Rippen rücken auseinander, das Blatt wird flach, nimmt statt der vertikalen eine horizontale Lage an und wendet nun nicht mehr die Rückseite, sondern die Oberseite dem einfallenden Lichte zu (s. obenstehende Abbildung, Fig. 6).

Daß firnisartige Überzüge als schützende Decke besonders häufig an jungen Blättern vorkommen und sie während ihrer Ausbildung vor Vertrocknung bewahren, schließlich aber,

wenn die Blattfläche einmal vollkommen ausgewachsen und die Oberhaut kutikularisiert ist, verschwinden, wurde bereits erwähnt. Ebenso wurde gelegentlich darauf hingewiesen, daß die Bekleidung mit Haaren den jugendlichen, der Knospe eben erst entschlüpften Laubblättern als Schutz und Schirm von hervorragendem Nutzen ist. An einer großen Zahl von Gewächsen sind die Blätter nur im Beginn der Entwicklung behaart; es finden sich an ihnen zwischen den Zellen der Haut lange Haarzellen mit ihrer schmalen Basis wie eingekleilt. Diese letzteren schrumpfen schon sehr zeitig dicht über ihrer Ursprungsstelle zusammen, brechen oder reißen dort quer ab, bleiben dann noch kurze Zeit hängen, werden aber später bei der Vergrößerung und Ausdehnung der Blattflächen abgestoßen, oft auch durch den Wind entführt. Die anfänglich ganz dicht behaarten Blättchen erscheinen dann beiderseitig oder doch teilweise kahl und grün. Am auffallendsten ist in dieser Beziehung die Felsenmispel (*Amelanchier vulgaris*), deren längs der Mittelrippe gefaltetes Laub im ersten Frühling mit schneeweißer Wolle bekleidet ist, so daß man fast an ein Edelweiß erinnert wird, während es im Sommer keine Spur davon mehr zeigt. Ähnlich verhalten sich auch die Silberpappel (*Populus alba*), mehrere Weiden und die Krokastanie. Die Blätter der letzteren sind zur Zeit, wenn sie sich über die braunen, auseinander gedrängten Knospenschuppen hervorschieben, dicht mit Wolle übersponnen, verlieren diese aber im Laufe des Frühlinges so vollständig, daß man an den ausgewachsenen Blättern nur hier und da noch hängen gebliebene Reste derselben wahrzunehmen vermag. Nicht immer sind es übrigens wollige Überzüge, welche später als überflüssig ganz oder teilweise abgestoßen werden. An den Laubblättern des schon früher genannten Schneeballes (*Viburnum Lantana*) erscheinen verfilzte Sternhaare, welche sich ablösen, sobald die Haut genügend verdickt ist; bei einer Rhabarberart (*Rheum Ribes*) sind es armleuchterartige, kurzgliederige, brüchige Haarbildungen, welche den Ranten des anfänglich sehr stark runzeligen Blattes aufsitzen und später, wenn sie nicht mehr notwendig sind, sich in Stücke lösen und abfallen, und bei mehreren Königsferzen (z. B. *Verbascum pulverulentum* und *granatense*) sind es strauchförmig verästelte Haargebilde, welche sich von der Oberhaut der ausgewachsenen Blätter abheben und als lose Flocken von den Winden weggetragen werden.

An der Buche (*Fagus silvatica*) wird das Jugendkleid der Laubblätter aus Seidenhaaren gebildet, und die Art und Weise, wie diese angebracht und als Schutzmittel wirksam sind, ist so eigentümlich, daß es der Mühe lohnt, etwas näher darauf einzugehen. Beim ersten Anblick scheint das junge Buchenblatt an der Rückseite ganz mit Seide überzogen; bei genauerem Zusehen aber findet man, daß die Seidenhaare nur den Rändern und den Seitenrippen aufsitzen, und daß die grünen Teile des Blattes keineswegs behaart, sondern tatsächlich vollständig kahl sind. Da aber das grüne Blattgewebe tiefe Falten bildet (s. Abbildung, S. 269, Fig. 4 und 5), die Seitenrippen einander noch sehr genähert sind und die auf ihnen sitzenden Seidenhaare mit den freien Enden über die nächstworderen Rippen weit hinausragen, so werden alle furchenförmigen Vertiefungen der Falten ganz überdeckt; jede Furche ist von den sehr regelmäßig in paralleler Anordnung nebeneinander liegenden Haaren überbrückt, und so wird der Eindruck hervorgebracht, als ob das ganze Blatt ein zartes Seidenkleid trüge (s. Abbildung, S. 269, Fig. 5). Über die Bedeutung dieser Haare kann kein Zweifel aufkommen; sie schützen eben das von ihnen überdeckte grüne Gewebe gegen die Sonne, und zwar so lange, bis die Haut dort genügend verdickt ist. Nachdem diese Verdickung erfolgte, glätten sich die Falten (Fig. 6), das Blatt nimmt statt der vertikalen eine horizontale Lage an; seine Rückseite ist dann von der Sonne abgewendet, und die Rolle der Haare ist

ausgespielt. Sie sind jetzt überflüssig und fallen in der Regel ab oder sind, wenn sie sich an den Seitenrippen erhalten, verknittert, unscheinbar und bedeutungslos geworden.

In dieser Stelle ist auch noch der Vorgänge bei der Entwicklung junger Laubblätter aus unterirdischen Knospen zu gedenken. Bei vielen Arten sind die jungen



Laubentfaltung des Tulpenbaumes (*Liriodendron tulipifera*): 1 ein Zweig, an dessen Spitze die Entfaltung schon begonnen hat, 2 das Ende desselben Zweiges, die Entfaltung weiter vorgeschritten, 3 die vorderen schalenförmigen Nebenblätter an den obersten Knospen künstlich entfernt, 4 eins der Nebenblätter im Abfallen begriffen. (Zu S. 264.)

Laubblätter in den unterirdischen Knospen von schuppenförmigen Blättern, die man Niederblätter nennt, eingehüllt. Sobald die jungen Laubblätter sich in die Länge strecken und durch die Erde an das Licht emporzukommen suchen, verlängern sich auch ihre Hüllen, und diese durchbohren mit ihrer aus turgeszierenden Zellen zusammengesetzten Spitze die Erde. Erst nachdem die Erde durchbohrt und durchbrochen ist, hört das Wachstum der Niederblätter auf. Sie haben

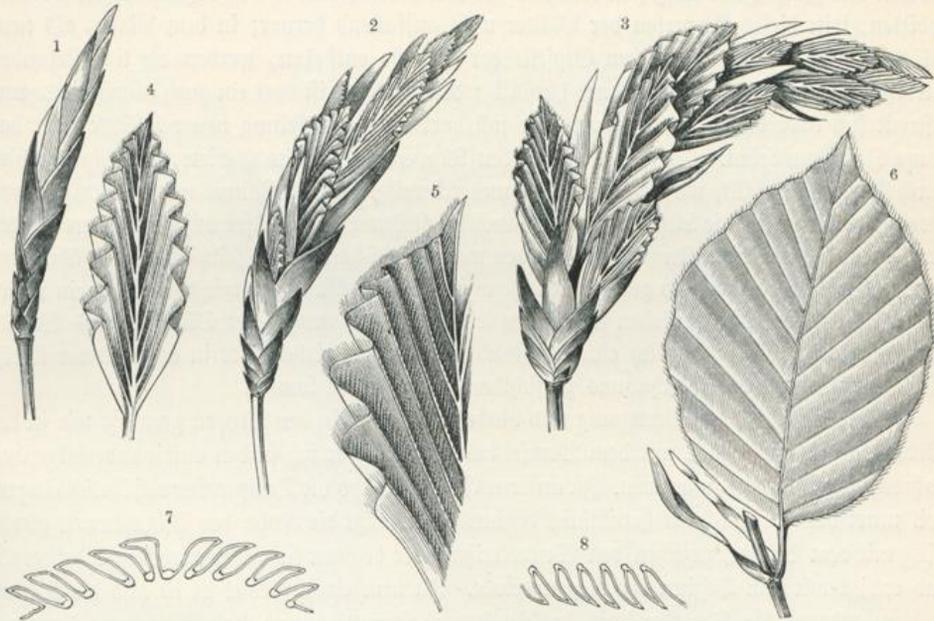
ihre Schuldigkeit getan, haben die Erde durchbohrt und die Spreiten der von ihnen eingehüllten jungen, zarten Laubblätter gegen Beschädigungen während dem Durchbrechen der Erde geschützt.

Wenn solche Hüllen aus Niederblättern fehlen, so müssen sich die jungen aufsprossenden Laubblätter selbst den Weg durch die Erde brechen. Diese Erde ist häufig aus harten Teilchen gebildet, sie enthält spitze Steinchen und eckige Sandkörner eingeschlossen. Damit nun auf diesem holperigen und rauhen Wege die emporschneidenden Laubblätter keinen Schaden nehmen, sind sie so gebogen, gedreht, gefaltet und zusammengelegt, daß sie insgesamt einen Keil darstellen, und, was das Wichtigste ist, der Scheitel dieses Keils, der wie ein Erdbohrer vordringt und hierbei auf das zu durchbrechende Erdreich einen starken Druck ausübt, ist mit besonderen Zellen gewappnet, welche mit jenen an der Spitze der oben erwähnten scheidenförmigen Niederblätter eine große Ähnlichkeit besitzen. Bei vielen Pflanzen, welche eine tief gelappte oder fein zerteilte Spreite der Laubblätter besitzen, wird der Scheitel des die Erde durchbohrenden Keils von dem Knie des hakig einwärts gebogenen Blattstiels gebildet. So z. B. kommen die Blätter des Eisenhutes (*Aconitum*), der neunblätterigen Zahnwurz (*Dentaria enneaphyllos*) und der Frühlingsplatterbje (*Orobis vernus*) nicht mit den Blattspitzen, sondern mit dem konvergen Teile des knieförmig gebogenen Blattstiels zuerst über die Erde hervor. Solange das Blatt noch im Durchbrechen begriffen ist, sind die Zipfel und Spitzen seiner Abschnitte nach abwärts gerichtet, und erst später, wenn der hakig umgebogene Blattstiel über die Erdoberfläche emporgetaucht ist, streckt er sich gerade und hebt und zieht dabei die Blattspreite aus der Erde heraus. Die freien Spitzen der Blattspreite, welche bisher abwärts gerichtet waren, werden jetzt, oberirdisch angelangt, in die entgegengesetzte Richtung gebracht, und die ganze Spreite entfaltet sich hierauf zu einer der Bodenoberfläche parallelen Scheibe.

Auf eine ganz eigentümliche Weise wird der Boden von den schildförmigen Blattspreiten des *Podophyllum peltatum* durchbrochen. Solange die Blätter dieser Pflanze noch klein sind und unter der Erde stecken, machen sie den Eindruck eines zusammengefalteten Sonnenschirmes. Die gefaltete Spreite ist nach abwärts geschlagen und an den senkrecht emporschneidenden dicken Stiel angeschmiegt. Am freien Ende des Stiels, welches der Spitze eines aufrecht gehaltenen Sonnenschirmes entsprechen würde, findet sich eine Gruppe chlorophyllloser, turgezierender, dünnwandiger Zellen, welche dem Sammelpunkte der strahlenförmig von dort auslaufenden Blattstränge wie ein weißer Knopf aufsitzt, und diese Zellgruppe bildet zugleich den Scheitel des die Erde durchbohrenden Keils. Nur diese Zellgruppe drückt, wenn der Blattstiel in die Höhe wächst, auf die überlagernden Erdschichten, durchbricht sie und kommt auch zuerst oberirdisch zum Vorschein. Die noch hinabgeschlagene, gefaltete und an den Stiel angeschmiegte Spreite wird dann infolge fortdauernder Verlängerung des Stiels durch das in die Erde gebohrte Loch emporgeschoben. Über der Erde angelangt, spannt sich die bisher noch immer herabgeschlagene Blattspreite endlich aus, ein Vorgang, der sich ganz so ausnimmt, wie wenn ein zusammengefalteter Sonnenschirm aufgespannt wird. Die oben erwähnte Zellgruppe aber, welche als Vorstoß gedient hatte, büßt jetzt ihre Turgejzenz ein, noch immer ist sie aber als ein weißer Fleck in der Mitte der bräunlichgrünen ausgebreiteten Blattspreite sichtbar.

Bei *Hydrophyllum Virginicum*, bei den Arten der Gattung *Acanthus* und an zahlreichen anderen Pflanzen, die sich durch fiederförmige Blätter auszeichnen, sind die Lappen der noch unter der Erde geborgenen Spreite ähnlich wie bei *Podophyllum* herabgeschlagen, das Durchbrechen der Erde wird aber bei ihnen durch eigentümliche Buckel und blasenförmige Wülste an den obersten Lappen, die wieder aus stark turgezierenden Zellen bestehen, vermittelt.

Bei der Zeitlose, dem Hundszahn, den Milchsternen, den Hyazinthen und vielen anderen Zwiebelgewächsen, bei zahlreichen Orchideen unserer Wiesen und Wälder, deren Knospen, in tiefgründiger Erde eingebettet, den Winter überdauern, ist die Spitze der ältesten Blattspitze zu einem förmlichen Erdbrecher umgestaltet. Gewöhnlich ist sie kapuzenförmig gestaltet oder sitzt wie eine Kappe den zusammengefalteten Spitzen der anderen, demselben Stock angehörnden Blattspitzen auf. Immer findet sich an der die anderen überdeckenden Blattspitze eine Gruppe chlorophyllloser Zellen, welche sich schon durch ihre bleiche Farbe von der Umgebung deutlich unterscheidet. Bei der Mehrzahl der untersuchten Pflanzen sind diese Zellen dünnwandig,



Entfaltung des Buchenlaubes: 1 die dunkeln Knospenschuppen auseinander gedrängt, oben die häutigen Nebenblätter sichtbar, welche die Laubblätter verhüllen, 2 die Entwicklung weiter vorgeritten, die gefalteten Laubblätter werden zwischen den Nebenblättern sichtbar, 3 derselbe Zweig noch weiter entwickelt, 4 Rückseite eines gefalteten jungen Buchenblattes, 5 ein Stück desselben Blattes, die Vertiefungen der Falten von Seitenhaaren überdeckt, 6 Flächenansicht eines entfalteten Buchenblattes, die Nebenblätter weit und im Abfallen begriffen, 7 Querschnitt durch ein Blatt, senkrecht auf die Mittelrippe, 8 Durchschnit parallel zur Mittelrippe. (Zu S. 266.)

zeigen aber eine starke Turgeszenz, nur bei wenigen, wie z. B. bei dem Bärenlauch (*Allium ursinum*), sind ihre Wände verdickt, und es ist dann die ganze Blattspitze fast hornartig. Diese Gruppe aus turgeszierenden Zellen bildet stets den Scheitel des aus der unterirdischen Knospe hervordachsenden Blätterkegels. Nachträglich, wenn einmal dieser Ke gel emporgeschoben ist und die Blätter sich über der Erde ausgebreitet haben, erschlassen die früher prallen Zellen der Blattspitze, vertrocknen, werden braun und brüchig, und man sieht dann die Spitze der alten Blätter wie abgedorrt. Bei der Haselwurz und bei mehreren Orchideen sind die Spitzen der ausgewachsenen und ausgebreiteten unteren Blätter sogar regelmäßig gebräunt und wie verbrannt, und zwar auch dann, wenn sie beim Durchdringen der Erde nicht im geringsten verletzt wurden.

Die tropischen Gewächse in der trockenen Jahreszeit.

So wie zahlreiche Erscheinungen bei dem Hervorbrechen und der Entfaltung des Laubes zu Beginn der Vegetationszeit von der Transpiration abhängen, ebenso stehen auch mehrere Vorgänge am Ende der Vegetationsperiode, vor allen der Laubfall, mit der Transpiration in ursächlichem Zusammenhange. Früher oder später stellt natürlich jedes Blatt seine Tätigkeit vollständig ein, verfärbt sich, stirbt ab, löst sich von dem Pflanzenstocke, dem es seine Dienste geleistet hatte, fällt zu Boden und verwest. In Gegenden, wo die Pflanzenwelt ununterbrochen das ganze Jahr tätig sein kann, in der wärmeren Zone, in den regenreichen Tropengebieten, tritt dieses Abwerfen der Blätter nicht auffallend hervor; in dem Maße, als neue Blätter unter den fortwachsenden Gipfeln der Sprosse entstehen, werden die tieferstehenden älteren desselben Sprosses welk und hinfällig; der Laubfall ist dort ein ganz allmählicher und erstreckt sich über das ganze Jahr, so wie sich dort die Entwicklung neuer Blätter über das ganze Jahr ausdehnt. Es gibt aber in den Tropen auch weite Gebiete, wo Monate hindurch kein Regen fällt, wo dann, wie bei uns zeitweise, manche Bäume mit ihren Ästen und Zweigen blattlos in die Lüfte ragen und auch die Kräuter und Gräser auf den weiten Fluren vergilbt und dürr sind. In solchen Gefilden macht die Pflanzenwelt zeitweilig einen ähnlichen Eindruck wie in der nördlich gemäßigten Zone im Spätherbst. Hier wie dort findet ein periodischer Wechsel im Pflanzenleben statt. Den lebhaften Bewegungen der Säfte, die das Wachstum erfordert, folgt alljährlich ein Stillstand des Saftauftriebes, der in auffallender Weise als Unterbrechung des Wachstums zu sichtbarem Ausdrucke kommt.

Dieser Wechsel von Bewegung und Ruhe hängt also in den Tropen gerade so wie in der nördlich gemäßigten Zone mit dem Wechsel des Wetters, der sich in den aufeinanderfolgenden Jahreszeiten vollzieht, zusammen. In unseren Gegenden, wo die Temperatur alljährlich längere Zeit unter den Gefrierpunkt herabfällt, beginnt und endigt die Ruhe der Pflanzenwelt gleichzeitig mit dem Winter, zwischen den Wendekreisen aber beginnt sie mit der trockenen Jahreszeit und endigt mit dem Beginn der Regenperiode. In dem einen Gebiet ist es also die Kälte, in dem anderen die Trockenheit, welche den Saftumtrieb und das Wachstum hemmen. Jedoch ist der Laubfall nicht durch den Eintritt der für den Pflanzenwuchs ungünstigen Jahreszeit verursacht, sondern er ist nur für viele Gewächse die Form der Anpassung an den Wechsel der Jahreszeiten, wie wir dergleichen Schutzmaßregeln in den vorhergehenden Abschnitten schon mannigfach kennen gelernt haben.

In den Tropen mit langen Trockenzeiten sind von solchen Schutzmaßregeln zunächst die Einrichtungen gegen übermäßige Transpiration verbreitet. Es sind wesentlich die oben schon allgemein geschilderten: die Ausbildung einer die Verdunstung hemmenden Oberhaut (vgl. S. 222), die Schließung der Spaltöffnungen während der trockenen Jahreszeit, auch die Verkleinerung der verdunstenden grünen Oberfläche auf einen möglichst geringen Umfang und die Ausbildung von Wasserspeichern verschiedener Form, die wohl auch in außertropischen Gebieten vorkommen, aber doch zwischen den Wendekreisen in den Gebieten mit lang andauernder trockener Jahreszeit besonders häufig sind. Dabei sind dort zur Aufspeicherung des Wassers auch oberirdische Knollen und Zwiebeln ausgebildet, Organe, welche in den kühleren Zonen unterirdisch angetroffen werden, besonders bei den epiphytischen Orchideen mit ihren knollenförmigen Stämmen. Denn die in den Ritzen der sonnendurchglühten Felsen wurzelnden Pflanzen sind beim Wasserbezuge oft weit günstiger gestellt als jene, welche ihren

Standort auf Bäumen haben. Das erklärt auch, warum gerade die Epiphyten mit sehr ausgiebigen Schutzmitteln gegen das Vertrocknen versehen sind. Namentlich sind es die Wasserspeicher, welche hier in größter Mannigfaltigkeit bei den Pflanzen der verschiedensten Familien beobachtet werden. Die sogenannten Amphigastrien der Lebermoose fungieren hier als Wasserspeicher; an einigen baumbewohnenden Farnen, namentlich an *Nephrolepis tuberosa*, entwickeln sich während der Regenzeit an kurzen Seitentrieben der Rhizome kugelige, mit dünnen, trockenen Schuppen besetzte Knollen von der Größe einer Kirschke, deren Gewebe von Wasser strözt.



Der Baobab (*Adansonia digitata*) in der Trockenzeit.

In diesem Zustand erhalten sich die Knollen im Verlaufe der trockenen Jahreszeit, während die anderen Teile dieses Farns verdorren und absterben. Auch die Blätter der zahlreichen auf den Ästen der Bäume angesiedelten Bromeliaceen sind mit Wassergewebe versehen. Ebenso sind die als Epiphyten wachsenden Orchideen reichlich mit Wassergewebe ausgestattet. Bei *Vanda teres* und *Sarcanthus rostratus* (s. Abbildung, S. 341) findet sich das Wassergewebe in den dicken, fleischigen Blättern, bei *Oncidium sphacelatum* (s. Abbildung, S. 160) und an zahlreichen Arten der Gattungen *Brassia*, *Catasetum*, *Cattleya*, *Coelogyne*, *Epidendrum*, *Laelia*, *Lycaste*, *Maxillaria*, *Odontoglossum* usw. in den oberirdischen Knollen. Als bezeichnend kann gelten, daß gefellig mit diesen Orchideen auch Kakteen, namentlich aus den Gattungen *Cereus* und *Rhipsalis*, die mit Hilfe ihres Wassergewebes die größte Trockenheit zu überdauern imstande sind, auf Bäumen wachsend angetroffen werden.

Neben diesen Einrichtungen an Blättern selbst zur Verhinderung einer übermäßigen Transpiration und der Ausbildung von Wasserspeichern ist aber in den Tropen auch der Laubabwurf als Schutzmittel gegen allzu starke Wasserabgabe nicht unbekannt. So stehen auf Ceylon im Februar und März die mächtigen Bombax-Bäume vollständig laublos da, ebenso die Plumieren. Von den Pithecolobien segt der Wind die Blätter herab, allein nach 14 Tagen haben sie schon wieder neues Laub erzeugt, was in den Tropen erstaunlich schnell vor sich geht. Auf Ceylon entlauben sich wohl ca. 100 Baumarten, die dort vorkommen. Bemerkenswert ist, daß in den tropischen Landschaften das Farbenspiel, besonders das Auftreten des roten Farbstoffes in den zum Abfallen sich vorbereitenden Laubblättern, zurücktritt, und daß die Ablösung des Laubes von den Zweigen viel langsamer erfolgt als in der nördlich gemäßigten Zone. Die Blätter der tropischen Pflanzen, aus denen die überschüssigen, aber noch wertvollen organischen Verbindungen in die Reservestoffbehälter abgeleitet wurden, stellen ihre Tätigkeit ein, verlieren ihre frische grüne Farbe und fallen ganz allmählich von den Zweigen. Bei manchen Arten wird beobachtet, daß sie gerade in laublosem Zustande blühen, wie z. B. *Bombax malabaricum*, *Plumiera* u. a., und daß auch die Früchte ihre volle Reife erst nach dem Laubfall erlangen. Daher sieht man bisweilen die entlaubten Zweige im Beginn der trockenen Jahreszeit mit Früchten behangen, wofür als Beispiel der in den afrikanischen Steppen, namentlich der Kongosteppe, verbreitete Affenbrotbaum oder Baobab (*Adansonia digitata*; s. Abbildung, S. 271) gewählt sein mag.

Daß in tropischen Gebieten mit periodischem Wechsel von Regenzeit und trockener Jahreszeit das Bild der Vegetation ein ganz verschiedenes sein kann, versteht sich wohl von selbst. Auf Ceylon, wo alljährlich eine mehrmonatige heiße Trockenzeit eintritt, ragen während derselben nur einzelne Bäume oder Baumgruppen entlaubt aus der im üppigen Schmuck grüner Laubmassen prangenden Tropenlandschaft hervor. Doch fällt der Laubabwurf nicht so auf wie bei uns, weil die Bäume der Tropenwälder selten zu größeren Beständen der gleichen Art vereinigt sind, sondern im bunten Durcheinander zerstreut wachsen. Sogar in Westjava, wo das ganze Jahr starke Regenfälle herrschen, wechseln viele Bäume ihr Laub und merkwürdigerweise manche Arten nicht zur selben Zeit, so daß einige blattlos, andere belaubt dastehen.

Anders und mehr unserem Spätherbst gleichend, ist das Aussehen von Tropengebieten mit langen Trockenzeiten. Hier stehen die Wälder vollkommen entlaubt, und in den trockenen Savannenwäldern an der Grenze des venezolanischen Llanos oder in den Campos Brasiliens strecken sie in der dürrn Periode ihre kahlen Äste zum Himmel. Dann bilden in solchen Gegenden die Landstriche einen eigenen Gegensatz zu denen, die feuchter sind, wie die Ufer der Flüsse, an denen sich der belaubte Wald hinzieht.

Es ist nun aber bewiesen worden, daß von den hier erwähnten Einrichtungen und Vorgängen besonders der Laubfall in den Tropen mit dem Einflusse des Klimas zwar zusammenhängt, aber nicht unmittelbar durch dasselbe veranlaßt wird. Darauf deuten auch Beobachtungen in unserem Klima hin. Mehrere Forscher haben sich ausführlich mit der Beobachtung und mit anatomischen Untersuchungen über den Laubfall in der gemäßigten Zone beschäftigt, wovon im nächsten Abschnitt gehandelt wird. Bekanntlich kommt es bisweilen vor, daß sich in der nördlich gemäßigten Zone der Eintritt des Winters verspätet. Obschon die Luft noch sehr mild ist und sich ihre Temperatur noch ununterbrochen weit über dem Nullpunkt hält, verfärbt sich dennoch das Laub und löst sich von den Zweigen der Bäume und Sträucher. Durch plötzlich eintretenden Frost kann der Laubfall beschleunigt werden, aber unmittelbar

veranlaßt wird er durch ihn nicht (vgl. S. 277). Desgleichen werfen Bäume und Sträucher in den Tropen ihr Laub selbst dann ab, wenn sich der Beginn der Trockenperiode länger als gewöhnlich hinauszieht und die klimatischen Verhältnisse es gestatten würden, daß die Blätter noch grün bleiben und funktionieren. Es kommt hier eben wieder jene Periodizität zur Geltung, die unten (S. 274) näher besprochen werden wird, und es soll hier ebenfalls hervorgehoben werden, daß bei den in den Gewächshäusern kultivierten Pflanzen auch dann, wenn dort die Temperatur und Feuchtigkeit das ganze Jahr hindurch gleich erhalten bleiben, für zahlreiche Arten der Gattungen *Adansonia*, *Azelia*, *Cedrela*, *Clerodendron*, *Coccoloba*, *Ficus*, *Kigelia*, *Sapindus*, *Sterculia*, *Strychnos* usw. eine Zeit kommt, in der sie ihr Laub gerade so abwerfen, als ob sie in ihrer Heimat vor dem Eintritte der trockenen Jahreszeit stünden. Daß der Wassermangel in der Trockenzeit, obwohl der Laubfall eine zweckmäßige Anpassung an diese Periode ist, nicht die unmittelbare Ursache des Laubfalles ist, ergaben auch Versuche, in denen es umgekehrt sogar gelungen ist, tropische, sonst laubabwerfende Bäume kurz vor der Trockenzeit zum Austreiben neuer Blätter zu veranlassen, welche sie dann auch in der Trockenzeit behielten. So ist also zweifellos der als eine gewöhnliche Erscheinung angesehene Laubwechsel durchaus nicht leicht wissenschaftlich zu erklären.

Der Laubfall vor Beginn der kalten Jahreszeit.

In Gegenden, wo es einen wahren Winter gibt, der das Pflanzenleben in Fesseln schlägt, werfen nicht nur viele Bäume und Sträucher, sondern auch viele niedere Gewächse zu bestimmter, alljährlich wiederkehrender Zeit ihre gesamte Laubmasse innerhalb einiger Tage ab und erscheinen dann eine längere Periode hindurch mit entblätterten Zweigen wie leblos und abgestorben. Dieser ganz allgemeine Laubfall verleiht den kälteren Zonen ihren besonderen landschaftlichen Charakter während jener Zeit.

Die Gefährdung der Transpiration durch andauernde Trockenheit in Boden und Atmosphäre bedarf keiner ausführlichen Erörterung. Wenn der Boden kalt wird oder gar bis zu einer begrenzten Tiefe gefriert, müssen die Wurzeln ihre wasseraufnehmende Tätigkeit einstellen, und die Zufuhr von Wasser aus dem Boden ist unterbunden. Schwieriger ist es, die Beziehungen zwischen dem Laubfall und dem Eintritt der Kälteperiode klarzustellen, und es ist angezeigt, zunächst auf einige diese Beziehungen erläuternde Kulturversuche hinzuweisen. Wenn der Boden, in dem man Pflanzen mit lebhaft transpirierenden Laubblättern (Melonen, Tabak und dergleichen) kultiviert, auf einige Grade über dem Nullpunkt abgekühlt wird, so tritt nach kurzer Zeit ein Welkwerden der Blätter ein, und zwar auch dann, wenn die Feuchtigkeit des Bodens und der Luft sowie die Temperatur der Luft für die betreffenden Pflanzen noch ganz günstig sein würden. Die Tätigkeit der Wurzeln wird durch Herabsetzung der Temperatur im umgebenden Erdreiche so beschränkt, daß der Wasserverlust, den die oberirdischen Laubblätter durch die Transpiration erleiden, nicht mehr ersetzt werden kann. Die Blätter welken, vertrocknen, werden braun oder schwarz, sehen wie verbrannt aus, nach der Ausdrucksweise der Gärtner sind sie „erfroren“, und zwar erfroren bei einer Temperatur über dem Gefrierpunkte, was dann auf Rechnung einer „besonderen Empfindlichkeit“ dieser Pflanzen gebracht wird.

Es ist aber unrichtig, hier von Erfrieren zu sprechen; tatsächlich sind diese Pflanzen infolge der Kälte des Bodens und des dadurch beschränkten Zufließens von Wasser zu den

transpirierenden Laubblättern vertrocknet. In Gegenden, welche jährlich eine langdauernde Kälteperiode durchmachen müssen, sind demnach die Pflanzen bei herannahendem Winter infolge der Abkühlung des Erdreiches, in dem sie wurzeln, der Gefahr des Vertrocknens ihrer Blätter gerade so ausgesetzt wie die Laubhölzer in den Catingas Brasiliens, wenn dort die heiße Trockenperiode beginnt. Sie entledigen sich auch gerade so wie diese ihres Blätter Schmuckes, weil sie nicht mehr imstande sein würden, den Wasserverlust der Laubblätter zu ersetzen. Die immergrünen Nadelhölzer dagegen widerstehen der winterlichen Trockenheit einmal durch die Kleinheit ihrer Blätter, welche eine sehr geringe Verdunstungsfläche haben, und durch den Schutz, welchen diese Blätter durch ihren anatomischen Bau, dickwandige Epidermis, ausgebildete Kutikula und eingesenkte Spaltöffnungen besitzen. Aber auch unter ihnen finden sich einzelne laubabwerfende Bäume, z. B. die Lärche, welche daher noch so weit nach Norden gehen und die höheren Gebirgslagen erreichen kann. Wenn dann die Temperatur der Luft unter Null sinkt, Frost eintritt und das Wasser in der Pflanze zu Eis erstarrt, so wird dadurch der Laubfall wohl beschleunigt, teilweise ist er aber schon vor Beginn des Frostes erfolgt, und auch dort, wo die Blätter noch an den Zweigen haften, ist ihre Ablösung durch die Beschränkung der Transpiration bereits eingeleitet und vorbereitet. Es soll hiermit nicht gesagt sein, daß die Pflanzen das Herannahen des Winters voraussehen, und daß die Vorbereitung zum Laubfalle das Ergebnis einer solchen klugen Voraussicht sei; vielmehr läßt sich die Erscheinung ungezwungen durch die Annahme erklären, daß in einem Klima, welches eine längere Unterbrechung der Transpiration des Laubes notwendig macht, gerade solche Pflanzen am besten gedeihen, sich erhalten und verbreiten, deren Eigenart es mit sich bringt, daß auf eine Periode energischer Arbeit eine Periode längerer Ruhe folgt. Der letzte Grund dieser unbewußt zweckmäßigen Periodizität ist freilich hiermit noch nicht gegeben. Derselbe ist ebenso rätselhaft wie überhaupt jede regelmäßige, an bestimmte Zeitabschnitte gebundene Wiederkehr von Lebensvorgängen und Lebenserscheinungen, die durch die Gunst oder Ungunst äußerer Verhältnisse zwar beschleunigt oder verlangsamt, aber nicht aufgehalten werden kann, und die sich auch ohne direkten äußeren Anstoß vollzieht oder doch zu vollziehen sucht.

In betreff der Beschleunigung oder Verzögerung des Laubfalles ist es von hohem Interesse, zu sehen, wie sich ein und dieselbe Pflanzenart unter verschiedenen äußeren Einflüssen verhält, und wie sich in jedem Gebiet und an jedem Standorte gewissermaßen eine Auswahl der für die Verhältnisse am besten geeigneten Pflanzen vollzogen hat. Zunächst ist hervorzuheben, daß unter sonst gleichen Verhältnissen das Laub sich dort länger grün und an den Zweigen erhält, wo Boden und Luft mehr Feuchtigkeit aufweisen. In schattigen, feuchten Waldschluchten sind nicht nur die Wedel der Farne, sondern auch die Blätter der Birken, Buchen und Eschen noch grün, wenn nebenan auf den sonnigen, trockenen Hügeln seit geraumer Zeit das verfärbte Laub der genannten Bäume auf die verdorrtten Farnwedel herabzufallen begonnen hat.

Die auffallendste Erscheinung ist aber, daß ein und dieselbe Art in hohen Gebirgslagen viel früher sich entlaubt als im Tal und in der Niederung. Wenn man berücksichtigt, daß in den Alpen die Lärchenbäume und die Heidelbeergebüsche an der Waldgrenze ihre jungen grünen Nadeln und Blätter um ungefähr einen Monat später hervorschieben als in den Tälern, deren Sohle etwa eine Seehöhe von 600 m aufweist, so sollte man erwarten, daß dieser Verspätung der Entwicklung auch eine Verspätung des Abschlusses der Jahresarbeit entsprechen und der Laubfall an der oberen Waldgrenze um einen Monat

hinausgeschoben würde. Aber weit gefehlt. Derselbe Lärchenbaum, welcher hoch oben am Bergabhang um einen Monat später grün geworden ist, wird dort im Herbst um einen Monat früher gelb, und wenn die Heidelbeergebüsche in der Talsohle noch mit dunkelgrünen Blättern geschmückt sind, leuchten die Gebüsch derselben Art aus den Lichtungen der Waldstreifen an der oberen Holzgrenze schon in tiefen Purpur gefüllt ins Tal herab. Ihre Blätter haben sich oben bereits verfärbt und lösen sich welkend von den Zweigen ab. Die Erklärung dieser Erscheinungen ergibt sich von selbst. In hohen Gebirgslagen, wo die hochstämmigen Bäume ihre obere Grenze finden, ist der Boden schon Ende August nicht selten mit Reif bedeckt; in der ersten Hälfte des Septembers fällt regelmäßig schon Neuschnee, und wenn dieser an den sonnigen Stellen auch wieder abschmilzt, so wird doch durch das Schneewasser der Boden tüchtig abgekühlt; die Länge der Tage nimmt zudem rasch ab, und die Sonnenstrahlen vermögen die Wärme, welche in den länger gewordenen Nächten durch Strahlung verloren geht, nicht mehr zu ersetzen. So sinkt die Temperatur des Erdbodens, in der die Pflanzen wurzeln, in jenen Höhen rasch, und die nächste Folge davon ist die Arbeitseinstellung der Wurzeln, die weitere das Verfärben, Welken und Abfallen der Laubblätter. Daher können sich an der oberen Baumgrenze nur solche Lärchenbäume und nur solche Heidelbeergebüsche erhalten, welche darauf eingerichtet sind, ihre jährliche Arbeit einen Monat später zu beginnen und einen Monat früher einzustellen als diejenigen, welche 1400 m tiefer sich angesiedelt haben.

Übrigens gilt das alles selbstverständlich nicht nur von den als Beispiel gewählten Lärchen und Heidelbeeren, sondern von allen anderen Pflanzen, deren Verbreitungsbezirk sich von der Niederung bis hinauf zur Holzgrenze an den Gehängen des Hochgebirges erstreckt. Es gilt weiterhin aber auch für diejenigen Gewächse, welche eine weite horizontale Verbreitung zeigen, die also beispielsweise von der Niederung am Nordfuße der Alpen bis hinab nach Unteritalien und selbst noch weiter südlich jenseits des Mittelmeeres wild wachsend oder kultiviert angetroffen werden. Wenn man im Herbst mit den Schwalben südwärts zieht, so wird man die Buchen und Kiefern, welche sich am Nordfuße der Alpen bei Wien Anfang Oktober verfärben, auf den Bergen Madeiras nicht einmal Anfang November verfärbt finden, und man kann die Platanen über dem schon durch nächtliche Reife erkälteten Boden im nordtirolischen Zinntale bei Innsbruck mit entblätterten Zweigen, an den milden Ufern des Gardasees am Südfuße der Alpen zwar noch belaubt, aber doch schon mit vergilbenden Blättern und in Palermo noch mit grünem dunkeln Laube geschmückt sehen. Ja, in Griechenland erhält sich die Platane in einzelnen Exemplaren den ganzen Winter hindurch grün, und es ist insofern auch keine Fabel, wenn Plinius von immergrünen Platanen erzählt. Auch die Zentifolien, welche nordwärts der Alpen mit Beginn des Winters ihr Laub verlieren, bleiben in Athen und selbst in Rom den ganzen Winter über grün. Ebenso ist der Kiefer, der im Norden zu den sommergrünen Pflanzen zählt, in Poti am Schwarzen Meere den ganzen Winter hindurch grün belaubt. In den Oasen des nordafrikanischen Wüstengebietes behält sogar der Pfirsichbaum von der einen Vegetationsperiode zur anderen sein Laub frisch und grün, und während die Blüten dieses Baumes im mittleren und südlichen Europa an Zweigen sich entfalten, welche im Herbst des vorhergegangenen Jahres ihr Laub verloren haben, kommen in den genannten Oasen die Blüten zwischen den noch grünen Blättern der früheren Vegetationsperiode zum Vorschein. Daß es auch dabei wieder auf die Temperatur und Feuchtigkeit des Erdreiches ankommt, und daß jene Platanen und Pfirsichbäume ihr Laub am spätesten abwerfen, deren Wurzeln auch im Spätherbst und Winter in einem feuchten und relativ

warmen Boden eingebettet sind, darf als wohlbegründet angenommen werden. Einen der besten Belege dafür, daß diese Auffassung die richtige ist, bietet wohl die Mulde nächst der Solfatara bei Neapel, wo der Boden jahraus, jahrein warm ist und auch der Feuchtigkeit nicht entbehrt. Unter dem Buschwerke verschiedener südlicher Sträucher mit immergrünem Laube stehen dort auch, durch fortwährendes Verstümmeln niedrig gehalten, einige Exemplare der gewöhnlichen Stieleiche (*Quercus pedunculata*). Im mittleren Europa und auch noch südwärts der Alpen, wie z. B. in dem großen Eichenwalde bei Montona in Istrien, verfärbt sich das Laub dieser Eichenart im Spätherbst; ein Teil desselben fällt schon mit Beginn des Winters von den Zweigen, der andere bleibt zwar zunächst noch hängen, wird aber braun und dürr und löst sich nach Ablauf des Winters ab. An den Zweigen der erwähnten Eichen im warmen Boden nächst der Solfatara aber haftet noch Ende April das Laub des verflossenen Jahres grün und fest an den Zweigen, obgleich bereits neues Laub aus den Knospen hervorzubrechen beginnt.

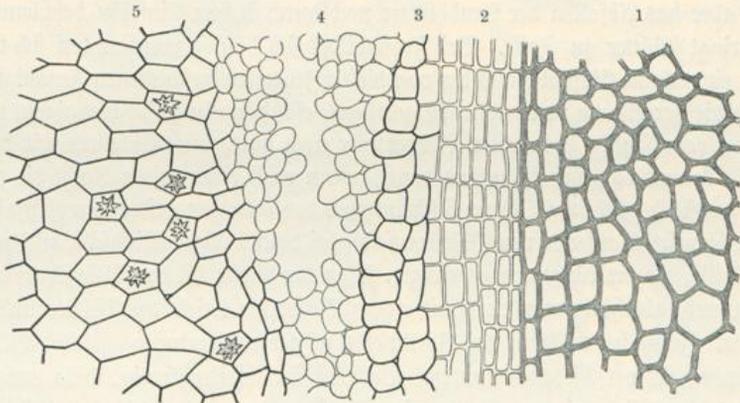
Aus alledem geht wohl unzweifelhaft hervor, daß das Abwerfen des Laubes mit dem Nachlassen des Transpirationsstromes zusammenhängt. Die Pflanzen, welche sich ihres Laubes entledigen, verlieren damit allerdings viel organische Substanz, an deren Erzeugung sie monatelang gearbeitet haben; aber dieser Verlust steht in gar keinem Verhältnis zu den Vorteilen, welche für sie das Abwerfen des Laubes mit sich bringt. Das, was abgeworfen wird, ist eigentlich doch nur ein Fächerwerk von ausgeleerten Zellen, die tote Hülle des lebendigen Teiles der Pflanze. Die abgeworfenen Blätter fallen zu Boden, verwehen und tragen zur Bildung von Dammerde bei, welche der Nachkommenschaft der laubabwerfenden Pflanzen zugute kommt.

Endlich ist auch noch zu bedenken, daß nur Pflanzen, deren Laub platt dem Boden aufliegt, oder solche, deren Blätter nadelförmig und deren Äste und Zweige sehr elastisch sind, wie die Legföhre, durch Schneedruck keinen Schaden leiden. Bäume, Sträucher und Stauden mit breit angelegten Flachblättern, wie Platanen, Ahorne, Linden, Buchen und Rüstern, sind nicht imstande, die Last des auf den großen Blattflächen angelegten Schnees zu tragen. Wenn ausnahmsweise einmal zeitig im Herbst, bevor noch der Laubfall begonnen, Berg und Tal eingeschneit werden, oder wenn im Spätfrühlinge, nachdem die jungen neuen Blätter schon eine ziemliche Flächenentwicklung erreicht haben, zum Schrecken des Landwirtes auf Feld und Wald dichter Schnee fällt, so sind die dadurch angerichteten Verheerungen ganz entsetzlich: die großblättrigen Stauden sind niedergedrückt und ihre Stengel geknickt, armsdicke Äste und mächtige Stämme der Bäume werden gesplittert, und in den Laubwäldern kann man ganze Reihen von Ahornen und Buchen zu Boden gestreckt, ja selbst entwurzelt sehen. Solche Verheerungen müßten aber in Gegenden mit schneereichem Winter in jedem Jahre wiederkehren, wenn dort die Laubhölzer ihre Blätter nicht rechtzeitig abwerfen würden, und man kann sich leicht ausmalen, wie es dort nach einer Reihe von solchen Katastrophen mit dem Laubwalde aussehen müßte.

Einer weitverbreiteten Meinung zufolge soll der herbstliche Laubfall durch den Frost veranlaßt werden. Diese Meinung stützt sich auf die Beobachtung, daß dort, wo im Oktober und November die Temperatur unter den Nullpunkt sinkt, in den Frühstunden nach hellen, kalten Nächten das Laub massenhaft von den Zweigen fällt. Daß der Frost mit dem Laubfall in irgendeinem Zusammenhange steht, kann demnach kaum bestritten werden; daß er aber nicht die unmittelbare Veranlassung ist, geht daraus hervor, daß der Laubfall nicht sofort

eintritt, wenn Pflanzen mit beblätterten Zweigen schon Ende August oder Anfang September einer Temperatur unter Null ausgesetzt werden, und andererseits auch daraus, daß das Laub der Linden, Kistern, Ahorne, Kirschbäume usw. schließlich auch dann abgeworfen wird, wenn im Herbst gar keine Fröste eintreten. Man könnte daher, wie schon früher erwähnt wurde, nur sagen, daß der Frost den Laubfall begünstigt, daß er dessen Eintritt beschleunigt, nimmermehr aber, daß das Ablösen der Blätter nur durch ihn bewirkt wird.

Tatsächlich erfolgt das Ablösen der Blätter von den Zweigen durch die Ausbildung einer eigentümlichen Zellschicht, durch das Entstehen eines besonderen Gewebes, das man die Trennungsschicht genannt hat. Ohne vorhergegangene Ausbildung dieses Gewebes könnten sich die Blätter überhaupt nicht ablösen, auch dann nicht, wenn sie längere Zeit sehr niedriger Temperatur ausgesetzt und die Säfte in ihren



Längsschnitt durch die herbstliche Trennungsschicht des Blattes der Hockkastanie (*Aesculus hippocastanum*): 1 Rindparenchym des Zweiges, 2 Kortzschicht, 3 und 5 Blattstielparenchym, 4 Trennungsschicht. (Aus F. Schwarz, Forstliche Botanik, Berl. 1892.)

Zellen und Gefäßen zu Eis erstarrt sein sollten. Gerade jener Teil der Blätter, in welchem die Ablösung erfolgen soll, besteht aus festen, zähen Geweben, zu deren vollständiger Zerreißung die durch den Frost veranlaßten mechanischen Veränderungen nicht ausreichen. Die Trennungsschicht dagegen, welche sich im Bereiche dieser Gewebe an einer oder an mehreren beschränkten Stellen des Blattes bildet, besteht aus saftreichen Parenchymzellen (s. obenstehende Abbildung), deren Wände so gebaut sind, daß ihr Verband sowohl durch mechanische als durch chemische Einflüsse leicht gelöst wird und ein Zerfallen des Zellgewebes stattfinden kann. Die Anregung zur Entstehung der Trennungsschicht wird gewiß sehr häufig durch die Beschränkung der Transpiration gegeben, in jenen Gegenden, welche einem kalten Winter entgegensehen, durch die allmähliche Abkühlung des Bodens und die Einstellung der Saugtätigkeit der Wurzeln. Sobald die Transpiration nachläßt, was den vorhergehenden Erörterungen zufolge nach der geographischen Breite und der Seehöhe des betreffenden Gebietes sehr verschieden ist, entstehen am Grunde der Blätter und Blättchen in vielen Fällen Schichten von Korkgewebe, aber außerdem Schichten zartwandiger Zellen, die sich durch Teilung rasch vermehren und schon nach kurzer Zeit einen Wulst bilden, der sich durch seine hellere Färbung und auch dadurch, daß er etwas durchscheinend ist, von dem derben älteren Gewebe unterscheidet. Regelmäßig entsteht dieser Wulst am Stiele des Blattes, und zwar

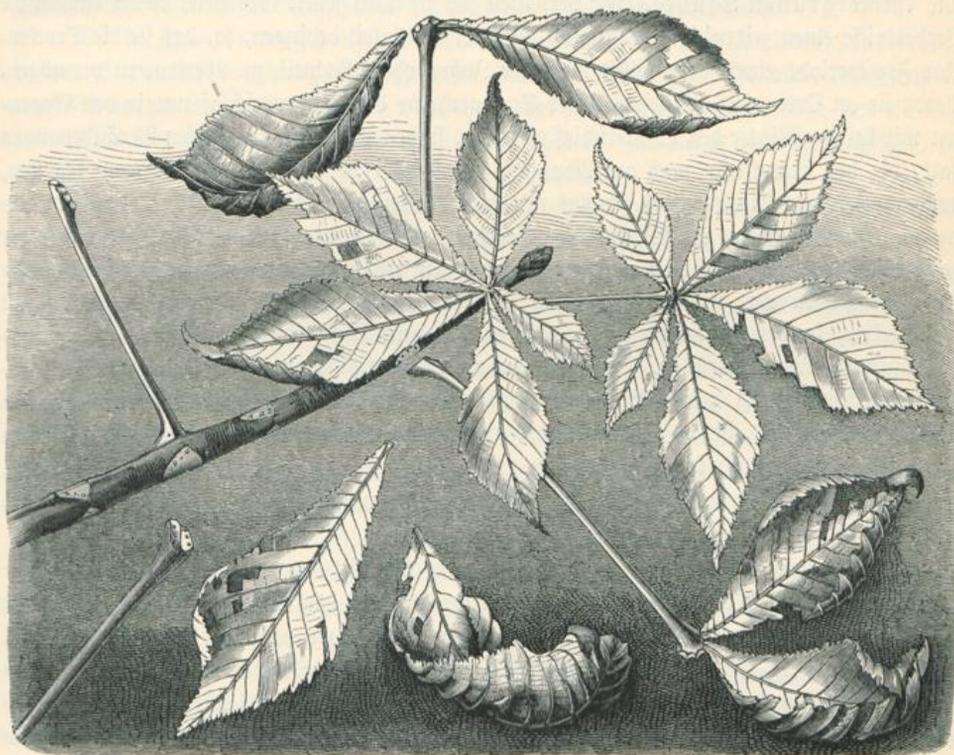
an jenen Stellen, wo die Gefäßbündel, die aus dem Zweig in die Blattfläche übergehen und sich in dieser als Rippen und Adern verteilen, eine Verengerung erfahren. Gerade an dieser Stelle schaltet sich das wuchernde Gewebe ein, drängt und zerrt die anderen älteren Zellen förmlich auseinander und kann selbst eine Zerreiſung derselben veranlassen. Hat dann die Trennungsschicht einmal die entsprechende Dicke erreicht, so heben sich deren zartwandige Zellen voneinander ab, ohne daß dabei ihre Membranen irgendwie verletzt oder zerrissen werden. Durch chemische Veränderungen werden die Zellen voneinander gelöst und dadurch ihr Verband in dem Gewebe der Trennungsschicht aufgehoben. Der unbedeutendste Anlaß kann nun eine Zerklüftung des gelockerten Gewebes, ein Auseinanderweichen der Zellen in der Trennungsschicht herbeiführen, und wenn kein weiterer Anstoß von außen erfolgt, so findet die Ablösung schließlich von selbst statt, indem schon das Gewicht des Blattes hinreicht, um seine vollständige Abtrennung zu bewerkstelligen. In der Regel wird aber das Abfallen der Laubblätter noch durch äußere Einflüsse beschleunigt. Jeder Windstoß bringt Blätter zu Falle. Bei Frost bildet sich häufig zwischen den sich trennenden Zellschichten eine dünne Eisplatte aus der von diesen Zellen ausgeschiedenen Feuchtigkeit. Diese vermag auch die Zerreiſung von noch nicht gelösten Gefäßbündeln zu beschleunigen, und endlich sind die schon vom Zweige getrennten Blätter nur noch durch diese Eisplatte mit dem Zweige verklebt. So kommt es, daß besonders dann, wenn nach einer kalten Nacht die aufgehende Sonne die herbstlich gefärbten Blätter bescheint und das aus dem gefrorenen Zellsaft gebildete Eisplättchen schmilzt, Tausende von Blättern selbst bei vollständiger Windstille zu Boden fallen.

Die Stelle, wo die Abtrennung erfolgte, ist in der Mehrzahl der Fälle scharf abgegrenzt, und es sieht aus, als hätte man dort mit einem Messer die Stiele der Blätter und Blättchen durchgeschnitten. Je nach der Form des Blattstieles zeigt die Abtrennungsschicht, Blattnarbe genannt, einen sehr verschiedenen Umriß. Bald ist sie hufeisenförmig, bald dreieckig, bald rundlich, das eine Mal erinnert sie an ein Kleeblatt, das andere Mal hat sie eine ringförmige Gestalt. Der Stiel der Platanenblätter bildet an der Basis einen Hohlkegel, der die Hülle einer Knospe darstellt; beim Ablösen entsteht dann ein Spalt, der rings um den ganzen Hohlkegel geht. An den Blättern der Weinrebe bilden sich zwei Trennungsschichten aus, die eine dicht über dem Stamme der Rebe an der Basis des Blattstieles, die andere am oberen Ende des Blattstieles unmittelbar unter der Blattspreite. An den handförmigen Blättern der Rosskastanie und der Zaunrebe (*Ampelopsis*), an den zusammengefügten Blättern der Federbusch-Spierstaude (*Spiraea Aruncus*), an dem gefiederten Blatte des chinesischen Götterbaumes (*Ailanthus glandulosa*) und dem doppelt gefiederten Blatte des nordamerikanischen *Gymnocladus Canadensis* entsteht unter jedem Teilblättchen eine besondere kleine und an der Basis des Blattstieles überdies eine große Trennungsschicht. Solche aus mehreren Teilblättchen zusammengefügten Blätter fallen bei einem Anstoße von außen wie Kartenhäuser zusammen, und unter den betreffenden Bäumen liegt dann im Spätherbst ein wirres Hauswerk von Blättchen und Blattstielen, welche letztere bald langen Gerten (wie z. B. bei dem Götterbaum und dem *Gymnocladus*), bald Röhrenknochen (wie bei den Rosskastanien) ähnlich sehen (s. Abbildung S. 279). Manchmal lagert sich die Trennungsschicht so in den Stiel des Blattes ein, daß nach erfolgter Ablösung ein kleiner Teil des Stieles am Zweige zurückbleibt. So verhält es sich z. B. an dem Pfeifenstrauche (*Philadelphus*), wo der zurückbleibende Teil in Gestalt einer Schuppe die über dem Blattstiel angelegte Knospe zu schützen hat.

Bei einigen Bäumen und Sträuchern erfolgt die Ablösung der Blätter ungemein rasch,

bei anderen nur sehr allmählich. An dem japanischen Ginkgo (*Gingko biloba*) vollzieht sich die Ablösung der Blätter innerhalb weniger Tage, bei den Hainbuchen und Eichen erstreckt sie sich über mehrere Wochen, ja an diesen Bäumen wird häufig nur ein Teil der abgestorbenen Blätter im Herbst, der andere erst nach Ablauf des Winters abgeworfen.

Erwähnenswert ist auch, daß bei einigen Bäumen die Ablösung des Laubes an der Spitze der Zweige beginnt und von dort allmählich gegen die Basis zu fortschreitet, während wieder bei anderen das Umgekehrte der Fall ist. Bei den Eichen, Haseln, Rot- und Hainbuchen ist das obere Ende der Zweige jedesmal schon der Blätter beraubt, wenn die untere



Laubfall der Roßkastanie (*Aesculus Hippocastanum*). (Zu S. 278.)

Hälfte derselben noch festhängende Blätter trägt; bei den Linden, Weiden, Pappelbäumen und Birnbäumen dagegen sieht man die Zweige schon sehr zeitig im Herbst unten blattlos werden und die Entlaubung nach oben zu fortschreiten; an den äußersten Zweigspitzen bleiben gewöhnlich noch einige Blätter lange hartnäckig sitzen, bis auch sie beim Anpralle des ersten Schneesturmes fortgewirbelt werden.

Bei vielen Pflanzen, besonders bei den Bäumen und Sträuchern, geht dem Laubfall die herbstliche Färbung der Blätter voraus, welche ihren großen ästhetischen Reiz auf jeden Menschen ausübt, da viele Pflanzen einen roten oder violetten Farbstoff erzeugen, den man Anthofyan genannt hat, weil er auch in ähnlich gefärbten Blüten vorkommt.

In prächtiger Weise kommt es bei vielen Pflanzen zur Ausbildung von Anthofyan, wenn die Laubblätter wegen beginnender Trockenheit des Bodens oder noch mehr wegen

eintretender Kälte und dadurch behinderter Zufuhr des rohen Nahrungsstoffes ihre Funktion zeitweilig einzustellen genötigt sind. Um diese Anthokyanbildung und alles, was damit zusammenhängt, schildern zu können, ist es notwendig, etwas auszuholen und hier vorerst die Stoffwanderungen und Stoffwandlungen, welche mit der Einstellung der Tätigkeit in den grünen Laubblättern am Schlusse der Vegetationsperiode verbunden sind, zu besprechen. Dieselben sind wesentlich verschieden, je nachdem die Laubblätter einer Pflanze nur durch eine oder mehrere Vegetationsperioden funktionieren, also je nachdem die Blätter nur sommergrün, d. h. einjährig, oder immergrün, d. h. mehrjährig sind. Die immergrünen Laubblätter verhalten sich in allen jenen Gebieten, deren klimatische Verhältnisse einen zeitweiligen Stillstand der Lebenstätigkeit bedingen, so, daß sie die Trocken- oder Frostperiode eines oder selbst mehrerer Jahre ohne Nachteil zu überdauern vermögen. Bevor sie an Orten mit ausgesprochener Sommerdürre den Sommerschlaf und in den Gegenden mit kaltem Winter den Winterschlaf antreten, finden aber in ihren Zellen Veränderungen statt, die der Hauptsache nach auf Abnahme des Wassergehaltes und Bildung von Stoffen, welche unter dem Einflusse des Frostes und der Trockenheit nicht verändert werden, hinauslaufen. In Gegenden, wo Winterschlaf eintritt, nehmen die Chlorophyllkörper eine gelblichbraune oder braunrote Färbung an und ballen sich in größere oder kleinere Klumpen, welche sich von der Oberfläche des betreffenden Blattes möglichst weit zurückziehen, in den Palisadenzellen gleichsam bis zum Boden derselben hinabwandern und ihre unteren Enden ausfüllen. Außerlich treten diese Veränderungen an den für die winterliche Ruheperiode sich vorbereitenden mehrjährigen Laubblättern nur wenig hervor; das einzige, was auffällt, ist, daß die im Sommer lebhaft grünen Blätter nun ein düsteres Grün zeigen oder einen Stich ins Braune oder Gelbe bekommen, eine Farbenwandlung, die am auffallendsten bei Thuja, Cryptomeria, Sequoia, Chamaecyparis, Libocedrus und überhaupt bei den meisten immergrünen Nadelhölzern eintritt.

Viel tiefgreifender und augenfälliger sind die Wandlungen, welche sich vor Eintritt der Winterkälte in den sommergrünen Laubblättern vollziehen. Wenn alle die Stoffe in dem Gewebe der Laubblätter, deren Herstellung doch ein gutes Stück Arbeit war, verloren sein sollten, so wäre das sehr unökonomisch. In der That ist einem solchen Verluste vorgebeugt. Ehe die Laubblätter sich ablösen, werden Kohlenhydrate und Eiweißstoffe, überhaupt alles, was für die Pflanze noch Wert hat, aus den Laubblattflächen in die holzigen Zweige oder in die unterirdischen Wurzelstöcke, Zwiebeln usw. geleitet und dort an Stellen abgelagert, wo sie einen gesicherten Ruheplatz finden und die Dürre des Sommers oder die Kälte des Winters unbeschadet überdauern können. Auf diese Weise erleidet der betreffende Pflanzenstock die geringste Einbuße an den von ihm in der abgelaufenen Vegetationsperiode erzeugten Stoffen; denn die Blätter, aus denen alles, was für die Pflanze noch wertvoll war, in die Stammbildungen übertragen wurde, bilden dann nichts weiter als ein totes Gerüst und enthalten in ihren Zellkammern nur noch kleine, gelbe Körnchen sowie Kristalle und Kristallgruppen von oxalsaurem Kalk, namentlich die auf S. 288 abgebildeten Raphiden. Die gelben, glänzenden Körnchen, die man in den Zellkammern der abfallenden Blätter findet, und welche die Gelbfärbung des Herbstlaubens veranlassen, sind als die letzten, nicht weiter brauchbaren Reste der umgewandelten und dann ausgewanderten Chlorophyllkörper anzusehen, und die Kristalle aus oxalsaurem Kalk sind seinerzeit im Stoffwechsel entstanden. Das eine wie das andere kann geopfert werden. Ja, es ist eigentlich gar kein

Opfer, wenn auf diese Gebilde verzichtet wird, da sie nur überflüssiger Ballast sind, der unter Umständen die Pflanze in ihrer nächstjährigen Tätigkeit sogar hindern könnte, und dessen sie sich daher am besten rechtzeitig entledigt. Insofern kann man den Laubfall auch als eine Ausscheidung überflüssig gewordener Stoffe auffassen, die sich bei den sommergrünen Pflanzen alljährlich nur einmal, aber dann in großem Maßstabe, vollzieht. Zu dem Vorteile, den diese Massenauscheidung der bei der Stoffwandlung gebildeten Abfälle den Pflanzen bietet, kommt noch, daß das abgefallene Laub mit seinem Reichtum an Kalk auf den Boden gelangt, dort verwest, zur Bildung von Humus und salpetersaurem Kalk beiträgt und so noch für die gesamte Pflanzenwelt nutzbar gemacht wird.

Die Auswanderung der noch verwendbaren Stoffe aus den Laubblattflächen in die Vorratskammern, in die Zweige, Stämme, Wurzelstöcke, Knollen und Zwiebeln, muß sich in der Regel ziemlich rasch vollziehen, am schnellsten jedenfalls dort, wo die Vegetationszeit kurz ist, wo die Blätter die günstige Zeit bis zur Reife ausnutzen müssen, und wo der Wechsel der Jahreszeiten fast unvermittelt eintritt.

Der Weg, den die aus den Laubblättern in die Vorratskammern der Stengelgebilde übersiedelnden Stoffe einschlagen, ist im allgemeinen derselbe wie bei der Ableitung der in den Blättern erzeugten Kohlenhydrate und Eiweißstoffe. So wie aber schon zur Zeit der lebhaftesten Tätigkeit in den Laubblättern in der einen Art diese, in der anderen Art jene Nebenprodukte des Stoffwechsels gebildet werden, ebenso entstehen auch bei der Auswanderung am Schlusse der Vegetationszeit in den verschiedenen Arten wieder verschiedene Substanzen als Ausscheidungsstoffe. In vielen Fällen sind diese Stoffe farblos und treten dann, selbst für den Fall, daß sie in großer Menge ausgebildet sind, für unser Auge nicht erkennbar hervor. Man sieht dann nur, daß die Blätter infolge der Umsezung, welche auch die Chlorophyllkörper zum Behufe der Auswanderung erfahren, ihr frisches Grün verlieren, und daß an Stelle der grünen Farbe ein gelber Farbenton zum Vorschein kommt. In manchen Blättern ist die Menge der durch Zusatz von Chlorophyll gebildeten gelben Körnchen so gering, daß auch der gelbe Farbenton kaum hervortritt, und solche Blätter erscheinen schmutzig gelblichweiß, vertrocknen sehr rasch und werden dann grau, braun oder schwarz.

In zahlreichen Pflanzen wird aber bei der Auswanderung der Kohlenhydrate und eiweißartigen Verbindungen Anthokyan erzeugt, und zwar in so großer Menge, daß es schon äußerlich deutlich sichtbar ist. Es erscheint in dem Zellsaft bei Gegenwart von Säuren, welche sich in den herbstlichen Blättern sehr regelmäßig einstellen, rot, bei Abwesenheit der Säuren blau und, wenn die Menge der freien Säuren sehr gering ist, violett. Finden sich neben dem angesäuerten roten Anthokyan auch reichlich gelbe Körnchen, so wird das betreffende Blatt orangefarben. So wandelt sich die grüne Farbe des Laubes zur Zeit der großen herbstlichen Stoffauswanderung bald in Gelb, bald in Braun, bald in Rot, Violett und Orange, und es entsteht dadurch zu dieser Zeit ein Farbenspiel, das desto mannigfaltiger ist, je zahlreicher die Pflanzenarten sind, welche an einem Ort in gefelligem Verbande vorkommen. Am farbenreichsten aber gestaltet sich ein solcher Bestand, wenn ihm auch noch Gewächse mit immergrünen Blättern eingeprengt sind; Flur und Wald können dann auf verhältnismäßig beschränktem Raume mit allen Farben des Regenbogens in der mannigfaltigsten Abwechslung geschmückt erscheinen.

Die Farbenpracht, welche tropische Wälder zeigen, und die man sich meistens weit großartiger vorstellt, als sie in Wirklichkeit ist, hält gar keinen Vergleich aus mit jener, welche

sich in der nördlich gemäßigten Zone im Herbst entfaltet. Die aus Nadelhölzern und Laubhölzern gemischten Waldbestände an den Bergabhängen längs des Rheines und der Donau in Europa und die Ufergelände der Kanadischen Seen in Nordamerika bieten dann ein Schauspiel von entzückender Schönheit. Die Höhen längs des Mittellaufes der Donau, also beispielsweise in dem Abschnitte, welcher unter dem Namen Wachau bekannt ist, tragen weite, ausgedehnte Waldbestände, an deren Zusammensetzung Buchen, Hainbuchen, Steineichen, Feld- und Spitzahorne, Birken, wilde Kirshbäume und Birnbäume, Vogelbeer- und Atlasbeerbäume, Espen, Linden, Kiefern, Fichten und Tannen in reichster Abwechslung beteiligt sind. Als Unterholz und am Saume der Waldbestände erheben sich noch Gebüsche von Sauerdorn, Hartriegel, Kornelkirsche, Spindelbaum, Zwergweichsel, Schlehdorn, Wacholder und noch viel anderes niederes Strauchwerk. Die Berglehnen, welche sich gegen den Talboden absenken, sind mit Weinreben bepflanzt, und in den Weinbergen werden Pfirsich- und Aprikosenbäumchen in großer Zahl gezogen. In den Auen am Strand und auf den Inseln des Donaustromes erheben sich mächtige Silberpappeln und Schwarzpappeln, Rüstern, Weiden, Erlen und auch eingesprengt sehr häufig Bäume der Ahlkirsche. Gegen Mitte des Oktobers werden dort die Nächte schon bitterkalt, feuchte Nebel wallen über dem Strom, und Reif bedeckt die grasigen Plätze der Talsohle. Tagüber aber herrscht noch milde Wärme, die Morgennebel sind unter den Strahlen der Sonne zerronnen, ein wolkenloser Himmel spannt sich über die Landschaft, und laue Lüfte, in welchen die weißen Fäden der Wanderspinnen schweben, ziehen von Osten her durch das Stromtal. Die ersten Reife sind das Signal für den Beginn der Weinlese; auf dem mit Reben beplanten Gelände wird es lebendig, und der Ruf des Winzers schallt von Hügel zu Hügel. Sie sind aber auch das Signal für die Verfärbung der Waldbestände auf den Berghöhen und in den Auen.

Welcher Reichtum der Farben ist da entfaltet! Die Kronen der Kiefern bläulichgrün, die schlanken Wipfel der Fichten schwarzgrün, das Laub der Hainbuchen, Ahorne und weißstämmigen Birken hellgelb, die Eichen bräunlichgelb, die mit Buchen bestockten breiten Waldstreifen in allen Abstufungen von Gelbrot zu Braunrot, die Kirsch- und Vogelbeerbäume, die Zwergweichsel und die Sträucher des Sauerdornes scharlachrot, die Ahlkirschen- und Atlasbeerbäume purpurn, der Hartriegel und Spindelbaum violett, die Espen orange, die Silberpappel und die Silberweiden weiß und grau, die Erlen trübe braungrün. Und alle diese Farben sind in der mannigfaltigsten und anmutigsten Weise verteilt, hier erscheinen dunklere Flächen, von hellen, breiten Bändern und schmalen, gewundenen Streifen durchzogen, dort ist der Waldbestand gleichmäßig gesprenkelt, dort wieder leuchtet auf grünem Grund die Feuergarbe eines einzelnen Kirschbaumes oder die Krone einer in den Föhrenbestand eingesprengten einzelnen goldgelb schimmernden Birke auf. Diese Farbenpracht dauert freilich nur kurze Zeit. Ende Oktober stellen sich die ersten Fröste ein, und wenn dann der Nordwind über die Berghöhen braust, wird all das rote, violette, gelbe und braune Laub von den Zweigen geschüttelt, im bunten Wirbel über den Boden hingetrieben und längs der Hecken und Windsfänge zusammengeweht. Nach wenigen Tagen erhält die den Boden bedeckende Laubschicht einen einförmigen braunen Farbenton, und wieder nach einigen Tagen ist sie unter der Schneedecke des Winters begraben.

Bei weitem länger als in den mitteleuropäischen Waldlandschaften dauert die herbstliche Verfärbung des Laubes in jenem Teile des nordamerikanischen Waldgebietes, dessen Vegetation mit der eben geschilderten der Alten Welt die größte Ähnlichkeit besitzt, das ist in dem



Herbstliche Laubfärbung am Erie-See.
Nach Aquarell von Ernst Heyn.



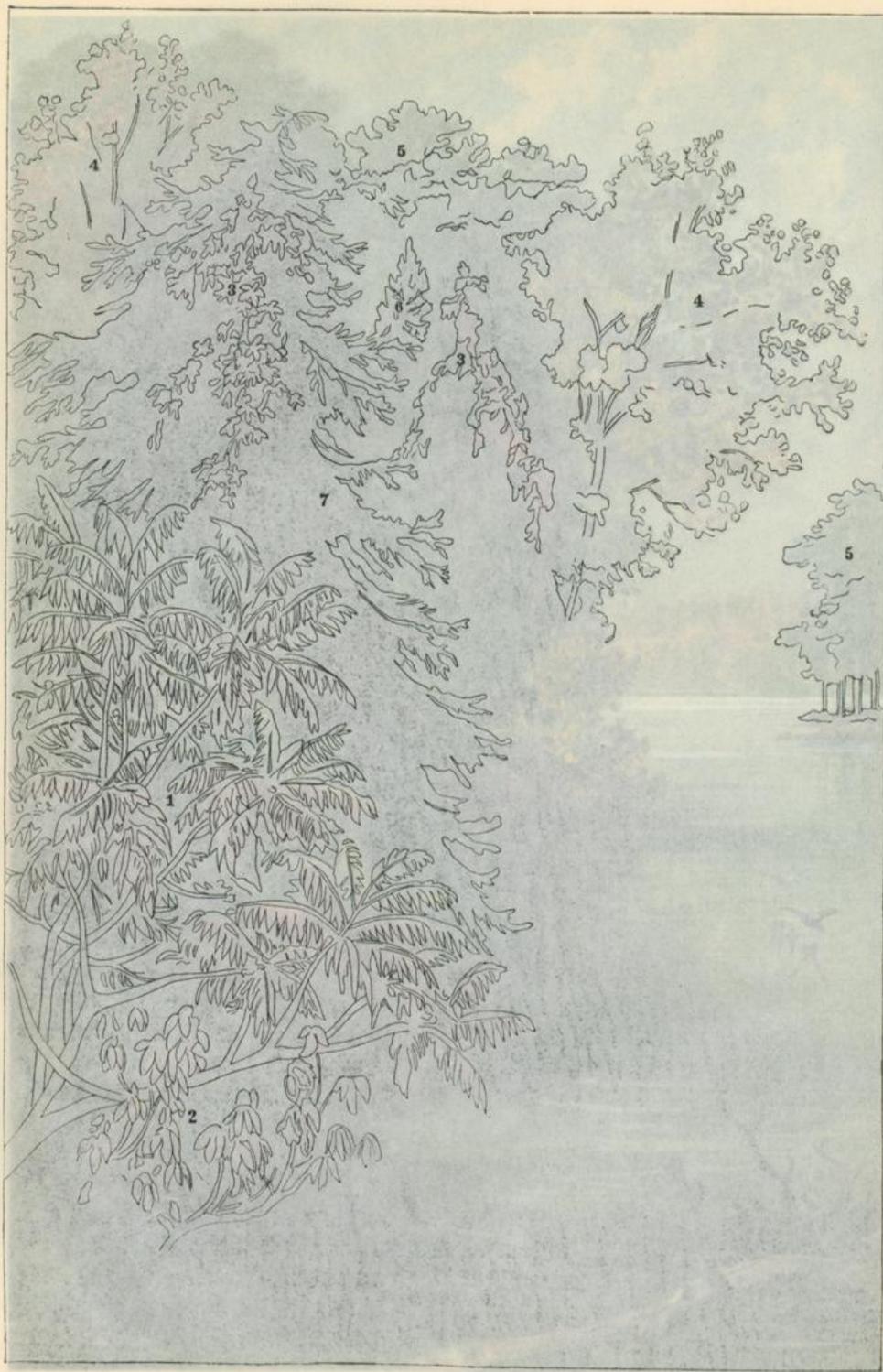
Herbifliche Laubfärbung am Erie-See.
Roth Aquarell von Ernst Heyn.

Gebiete des Lorenzstromes und von den Kanadischen Seen bis hinab zu beiden Seiten des Alleghanygebirges nach Virginia und Kentucky. Auch dort ist ein prächtiges Nadelholz mit sommergrünem Laubholz gemischt, und auch dort magt sich reiches Unterholz an den Waldbeständen. Hier zum Teil sind die schon ähnliche Arten, welche die Gehäuser zusammensetzen: Kiefern und Tanne, Fichte, Buche, Eichen, Linden, Birken, Erle, Pappel, Ahorne, Weiden, Weiborn, Schneebühl, Kirschen, der Reichthum an Species ist aber dort noch bei weitem größer als in den Gegenden an dem Ufer des Erieses, von denen die vorerwähnte Tafel die Herbstliche Landschaft am Erie-See ein anschauliches Bild bot, geschweige denn in den ungeschlossenen Gehölen auch noch der Eiche, des Buchen und Eßigbaum (Rhus), der Gumpelbaum, die nordliche Hainbuche, mehrere Mahlnußbäume, Robinien, Ginkgobäume, Lärchen, Kiefer, und in einigen Ansehnlichen, welche die Tannen in die höchsten Baumgewächse emporheben. Solche große Mannfaltigkeit der Arten veranlaßt im Herbst ein noch reicheres Farbenspiel, als in den mitteleuropäischen Landschaften. Das Verfärben des sommergrünen Laubes beginnt im ersten Theil seiner schon Mitte September und erstreckt sich über mehr als einen Monat, bis im letzten Blätter gewöhnlich ist gegen Ende des Herbstes vollständig. In der That die Fagus ferruginea verfarbt sich in gar nicht so reichem Gelb als die amerikanischen Arten, die hierher gebracht sind, und die in den europäischen Landschaften die herrschenden Laubbäume sind die europäischen Buchen, die in den Kanadischen Seen in einer außerordentlich Mannfaltigkeit vorkommen. In ihrem herbstlichen Laub alle Tinten vom Gelb bis zum Roth, und die der Ahorn (Acer rubrum) häuft sich in diesen Gegenden zu einem prächtigen gelben Gelb, die großhornigen Weibornen, die hier häufig vorkommen, zeigen sich in der Gifsumach (Rhus Toxicodendron) verfarbt sich in ein prächtiges Roth, die in dem Gezweige der Bäume emporklettert, und sich in brennenden Scharlach färbt. In demselben Theile des Herbstes verfarbt sich die kanadische Tanne mit ihrem weichen Laub zu einem prächtigen Bläulichgrün ihrer Nadelkronen. In demselben Theile des Herbstes ist an Arten entwickelt ist, und wo man sich in den Gegenden der Kanadischen Seen über tags an den Blicken langsam vorüber bewegt, und die Landschaften der südlichen Ufer der Kanadischen Seen betrachtet, so wird man durch die Abbildern, die an Farbenreichtum von keinem andern Theile des Herbstes übertroffen werden.

Selbstverständlich erstreckt sich die Mannfaltigkeit der Farbenreichtum keines nicht nur auf die genannten Bäume und Sträucher, sondern auch auf die niedere Stauden und Kräuter. In den Waldlandschaften treten vor die Augen der größeren Holzgewächse hervor, und nur selten bilden sich die Bäume einen charakteristischen Zug im herbstlichen Bild. Anders verhält es sich, wo hochstämmige Bäume vollständig fehlen, und wo gerade die aus den höchsten gebildeten Bestände die bedeutendste Rolle spielen, so namentlich in Gebieten der arktischen Flora und auf den Hochgebirgen, welche über die Baumgrenze weit emporragen. Unter diesen letzteren aber dürfte in betreff des herbstlichen Farbenwechsels der Pflanzendecke kaum ein anderes aus den mitteleuropäischen Arten vorkommen können. Insbesondere sind es jene durch die große Mannfaltigkeit ihrer Flora und den Reichthum an Beständen aus Gräsern ausgedehnten Teile der Zentralalpen, in denen Schichten von Schiefer und Kalk abwechseln

1. Rhus typhina. — 2. Rhus Toxicodendron. — 3. Ampelopsis quinquefolia. — 4. Kirschenbaum latifolia. — 5. Pinus Strobus. — 6. Taxus canadensis. — 7. Taxus canadensis.

[Zur Tafel: »Herbstliche Laubfärbung am Erie-See.«.]



Herbstliche Laubfärbung am Erie-See.

1. *Rhus typhina*. — 2. *Rhus Toxicodendron*. — 3. *Ampelopsis quinquefolia*. — 4. *Liriodendron tulipifera*. —
5. *Pinus Strobus*. — 6. *Thuja occidentalis*. — 7. *Tsuga Canadensis*.

Gebiete des Lorenzstromes und von den Kanadischen Seen bis hinab zu beiden Seiten des Alleghanygebirges nach Virginia und Kentucky. Auch dort ist immergrünes Nadelholz mit sommergrünem Laubholze gemischt, und auch dort macht sich reiches Unterholz in den Waldbeständen breit. Zum Teil sind es auch ganz ähnliche Arten, welche die Gehölze zusammensetzen, Kiefern und Tannen, Buchen und Hainbuchen, Eichen, Eschen, Linden, Birken, Erlen, Pappeln, Ahorne, Ulmen, Weißdorn, Schneeball und Hartriegel; der Reichtum an Formen ist aber dort noch bei weitem größer als in Mitteleuropa. In den Landschaften am Ufer des Eriesees, von denen die hier beigeheftete Tafel „Herbstliche Laubfärbung am Eriesee“ ein anschauliches Bild gibt, gesellen sich zu den aufgezählten Gehölzen auch noch der Giftsumach und Essigbaum (*Rhus*), der Tulpenbaum, die westliche Platane, mehrere Walnussbäume, Robinien, *Gymnocladus*, *Liquidambar* und insbesondere auch einige Ampelidazeen, welche als Lianen in die höchsten Baumwipfel emporklettern. Diese größere Mannigfaltigkeit der Arten veranlaßt im Herbst ein noch reicheres Farbenspiel als in den mitteleuropäischen Landschaften. Das Verfärben des sommergrünen Laubes beginnt an einigen Arten immer schon Mitte September und erstreckt sich über mehr als einen Monat, da das Abfallen der letzten Blätter gewöhnlich erst gegen Ende des Oktobers stattfindet. Die amerikanische Buche (*Fagus ferruginea*) verfärbt sich in ganz ähnlicher Weise wie die europäische, auch die amerikanischen Birken (*Betula nigra* und *B. papyracea*) zeigen dasselbe Goldgelb in ihren herbstlichen Laubblättern wie die europäischen Schwesterarten; aber die Eichen, die im Süden der Kanadischen Seen in einer außerordentlichen Mannigfaltigkeit von Arten gedeihen, zeigen in ihrem herbstlichen Laub alle Tinten von Gelb durch Orange zu Rot und Rotbraun; der rote Ahorn (*Acer rubrum*) hüllt sich in tiefen Purpur, der Tulpenbaum zeigt das hellste Gelb, die großdornigen Weißdorngebüsche, der Schneeball (*Viburnum Lentago*) und der Giftsumach (*Rhus Toxicodendron*) werden violett, der Essigbaum (*Rhus typhina*) und die in dem Gezweige der Bäume emporklimmenden wilden Reben (*Vitis* und *Ampelopsis*) kleiden sich in brennenden Scharlach. In dieses bunte Gemenge von grellen Farben mengen sich die kanadische Tanne mit ihrem tiefen dunkeln Grün und die Weimutskiefer mit dem matten Bläulichgrün ihrer Nadelkronen. Wo solcher Mischwald mit seinem ganzen Reichtum an Arten entwickelt ist, und wo man Gelegenheit hat, denselben im milden Licht eines Septembertages an den Blicken langsam vorüberziehen zu sehen, wie z. B. bei einer Fahrt längs der südlichen Ufer der Kanadischen Seen, schwelgt das Auge an den wechselvollen Landschaftsbildern, die an Farbenreichtum von keiner anderen Waldlandschaft übertroffen werden.

Selbstverständlich erstreckt sich die herbstliche Verfärbung des sommergrünen Laubes nicht nur auf die genannten Bäume und Sträucher, sondern auch auf ausdauernde niedere Stauden und Kräuter. In den Waldlandschaften treten aber nur die massigen Formen der größeren Holzgewächse hervor, und nur selten bildet dort auch das niedere Gesträube einen charakteristischen Zug im herbstlichen Bild. Anders gestaltet sich die Sache dort, wo hochstämmige Bäume vollständig fehlen, und wo gerade die aus niederen Gewächsen gebildeten Bestände die bedeutendste Rolle spielen, so namentlich im Gebiete der arktischen Flora und auf den Hochgebirgen, welche über die Baumgrenze weit emporragen. Unter diesen letzteren aber dürfte in betreff des herbstlichen Farbenwechsels der Pflanzendecke kaum ein anderes mit den mitteleuropäischen Alpen wetteifern können. Insbesondere sind es jene durch die große Mannigfaltigkeit ihrer Flora und den Reichtum an Beständen aus Eriksaen ausgezeichneten Teile der Zentralalpen, in denen Schichten von Schiefer und Kalk abwechseln

oder aneinander grenzen, wo das hier geschilderte Schauspiel mit einer Pracht vorüberzieht, von der sich die sommerlichen Besucher und Bewunderer der Alpenwelt kaum eine annähernde Vorstellung zu machen imstande sind. Der Beginn des Schauspieles ist schwer festzustellen und ändert sich von Jahr zu Jahr je nach den gerade herrschenden Verhältnissen der Wärme und Feuchtigkeit. Wenn bereits gegen Ende August Neuschnee mehrere Tage auf den Gehängen über der Holzgrenze liegen bleibt, so tritt die Verfärbung schon um diese Zeit ein; wenn aber, was der häufigere Fall ist, erst um die Mitte des Septembers ein Wettersturz das Hochgebirge in einen weißen Schneemantel kleidet, in der zweiten Hälfte dieses Monats der Neuschnee wieder abschmilzt und sich dann wochenlang ein spiegelklarer Himmel über dem Hochgebirge wölbt, so ist auch der herbstliche Farbenwechsel um so viel länger hinausgeschoben. Unten in den Talgründen, welche wegen des tieferen Standes der Sonne auf weite Strecken schon im Schatten liegen, bleibt der Boden ununterbrochen weiß bereist, während oben auf den südlich abdachenden Bergeshöhen mit dem ersten Sonnenblick auch der nächtliche Reif schwindet und tagsüber milde Lüfte über die Gehänge wehen. Schneehühner sowie Schwärme der über die Alpenpässe ziehenden, hier zu kurzer Rast weilenden Wandervogel sind geschäftig, die Beeren von dem in großer Zahl die Galden überziehenden niederen Strauchwerk abzuspicken; die Falter aber, welche im Sommer um die großen Alpenblumen so geschäftig waren, sind verschwunden; hier und da erheben sich noch einzelne bleiche Skabiosen und die dunklen Ähren des spät blühenden norwegischen Ruhrkrautes, alles übrige ist aber schon in Frucht übergegangen, und der Blütenreigen ist abgeschlossen. Und dennoch machen die Gehänge jetzt den Eindruck sommerlicher Fluren, die mit ungezählten Blüten geschmückt sind. Das sommergrüne Laub der niederen Stauden und Kräuter und insbesondere der verzweigten, buschigen und teppichbildenden Sträucher, aus dem die Auswanderung der Stoffe in die holzigen Zweige und in die unterirdischen Stengelbildungen erfolgt, gewinnt eben während dieser kurzen Zeit rote, violette und gelbe Farbtöne, welche den lebhaftesten Blumenfarben an Schmelz und Leuchtkraft nicht nachstehen. Am auffallendsten treten die sommergrünen Heidelbeergewächse und eine Art der Bärentrauben hervor. Während die Blätter der Moosbeere (*Vaccinium uliginosum*) einen violetten Farbenton annehmen, kleiden sich die der Heidelbeergebüsche in tiefes Rot und jene der Alpenbärentraube (*Arctostaphylos alpina*) in weithin sichtbaren Scharlach. Die herbstlich gefärbten Blätter dieser letzteren Pflanze zeigen überhaupt das schönste Rot, das an irgendeinem Laubwerk im Herbst beobachtet wird, noch viel feuriger als jenes der nordamerikanischen Neben und des Essigbaumes (*Rhus typhina*), und wenn das Laub dieser Bärentraube auf einem Berggrate von den schief einfallenden Sonnenstrahlen durchleuchtet wird, so glaubt der tiefer untenstehende Beobachter rote Flammen aus dem Boden hervorzüngeln zu sehen. Auch die Blätter zahlreicher nicht holziger Gewächse, so namentlich der alpinen Geranien und des Alpenhabichtskrautes, färben sich vor dem Welken am Saum und längs der Nerven oder auch über die ganze Fläche und nehmen sich von fern wie rote, violette und scheckige Blüten aus. Die Alpenweiden dagegen, zumal die teppichbildende *Salix retusa* und das niedere Buschwerk der *Salix hastata* und *S. arbuscula* sowie auch die rotfrüchtige Zwergmispel (*Sorbus Chamaemespilus*), erscheinen goldiggelb. Die letzteren besäumen insbesondere das Rinnsal der Quellsbäche, und wenn man von erhöhtem Standpunkt in die Mulden und Rare hinabsieht, durch welche die Gewässer in gewundenem Lauf und unterbrochen durch kleine Raskaden ihren Weg verfolgen, erkennt man die Weiden- und Zwergmispelgebüsch als goldige, geschlängelte Linien und Bänder, welche in die dunklere

Umgebung eingezeichnet sind. Zwischen das niedere Gestrüpp der Heidelbeeren und Moosbeeren, vorzüglich aber zwischen das niederliegende Geäste der Alpenbärentraube sind allwärts auch weiße und graue Flechten, namentlich die Rentierflechte und die isländische Flechte, eingesprengt, und einzelne felsige Rücken und Grate sind so ausschließlich von diesen Gebilden überzogen, daß sie schon von fern als weiße Flecke und Streifen auf rotem, violetter und gelbem Grund erscheinen. Das Farbenspiel in der Alpenregion wird noch dadurch wesentlich gehoben, daß es an breiten Flächen mit dunkeln Tönen nicht fehlt. Die Zahl der immergrünen Gewächse ist dort verhältnismäßig groß, und insbesondere erhalten mehrere der bestandbildend auftretenden Arten ihr grünes Laub unter der lange dauernden winterlichen Schneedecke bis in die Vegetationsperiode des nächsten Jahres. Die Bestände aus Legföhren, die Gestrüppe der Alpenrosen, die Gruppen der schwarzfrüchtigen Kauschbeere (*Empetrum nigrum*) und die Teppiche aus der immergrünen Bärentraube bringen mit ihren dunkelgrünen Farben eine gewisse Ruhe in das bunte Gewirr. Auch die Teppiche der *Azalea procumbens*, die sich im Herbst durch Ballung der Chlorophyllkörper in den Zellen der Blätter braungrün färben, mäßigen die Buntheit des Bildes in harmonischer Weise.

Das reizende Schauspiel der Verfärbung des sommergrünen Laubes in der alpinen Region erstreckt sich in der Regel nur auf 14 Tage. Bleibt dann das Hochgebirge noch kurze Zeit schneefrei, so lösen sich alle die roten, violetten und gelben Blätter von den Zweigen und Zweiglein. Was in den Blättern an verwendbaren Stoffen noch vorhanden war, ist während dieser kurzen Zeit in die überwinternden Stammbildungen gewandert; das abgefallene Laub wird braun und schwarz, und bald breitet sich eine dichte, bleibende Schneelage über das Hochgebirge aus. Die Kämme, Halden und Mulden, auf welchen kurz vorher noch feuriges Rot und helles Gelb zwischen den dunkeln Legföhren und Alpenrosen aufflamnte, heben sich jetzt mit blendendem Weiß vom winterlichen Himmel ab.

V. Stoffwechsel und Stoffwanderung.

1. Die Pflanzenstoffe.

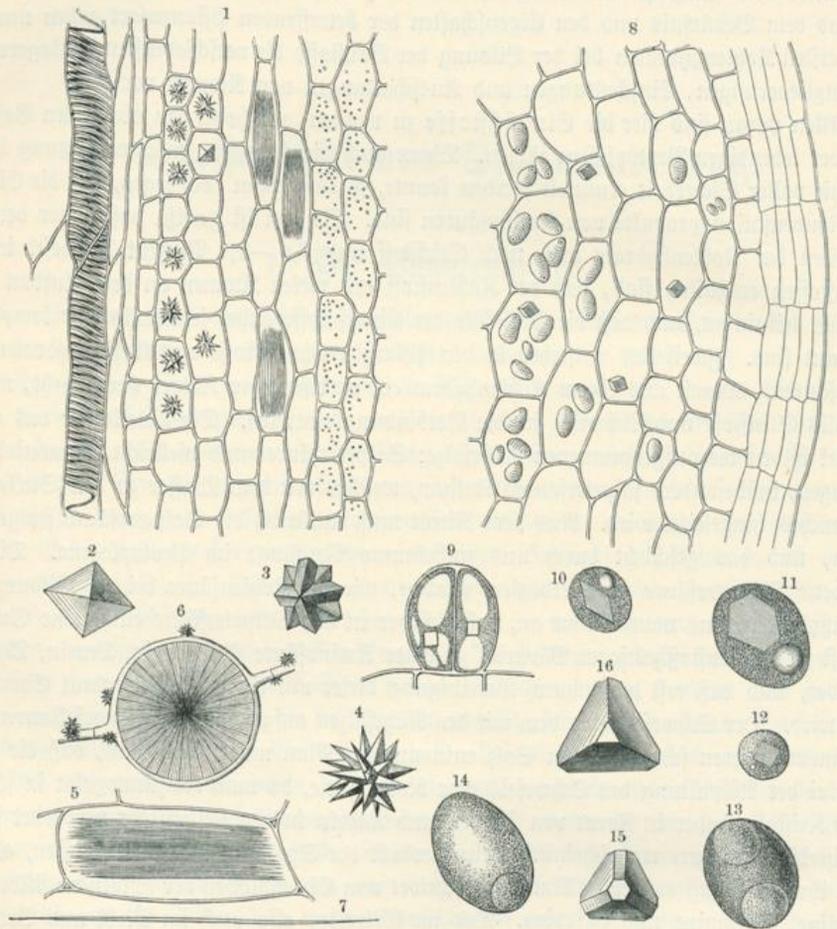
Die Synthese der Kohlenhydrate im Chlorophyll ist die einzige, welche an das Sonnenlicht gebunden ist, und ihr Erzeugnis ist immer dasselbe. Es gehen aber noch zahlreiche andere chemische Synthesen und Spaltungen im Pflanzenkörper vor sich, die zur Bildung einer solchen Fülle von Pflanzenstoffen führen, daß die Chemiker dicke Bücher mit ihrer Aufzählung anfüllen konnten. So groß nun auch die Menge dieser Pflanzenstoffe ist, so lassen sie sich doch sämtlich in zwei Gruppen zusammenfassen: es sind entweder Baustoffe der Pflanzenorgane oder Ausscheidungsprodukte des Stoffwechsels. Während die Anzahl der letzteren sehr groß ist, ist die Zahl der für die Ernährung wichtigen Baustoffe nur klein, so daß es keine Schwierigkeiten macht, ihre Bedeutung zu überblicken. Die sämtlichen chemischen Vorgänge, welche sich an die Bildung der organischen Substanz in den Blättern, die Photosynthese, anschließen, bezeichnet man als den Stoffwechsel der Pflanze. Hierbei kommt es zu keiner Neubildung von Stoffen aus einfachsten Kohlenstoffverbindungen, sondern nur zu neuen Verbindungen und Spaltungen, die sich alle von der Stärkesynthese herleiten. In der lebenden Pflanze vollziehen sich diese Verbindungen, Spaltungen und Verschiebungen mit größter Leichtigkeit, und viele Stoffe, deren Zusammensetzung in den chemischen Laboratorien weder auf geradem Wege, noch auf Umwegen gelingen will, werden in den Zellen der Pflanze sozusagen im Handumdrehen hergestellt. Blicken wir auf die Vorbedingung des Stoffwechsels, die Stärkesynthese, zurück, so könnten wir vorläufig auf Grund chemischer Tatsachen annehmen, daß aus der Kohlensäure unter Reduktion ein unter dem Namen Formaldehyd bekannter Körper entsteht, und daß aus diesem durch Kondensation ein Kohlenhydrat hervorgeht. Für diese Auffassung spricht besonders der Umstand, daß es gelungen ist, aus dem Formaldehyd (Aldehyd der Ameisensäure), der aus 1 Atom Kohlenstoff, 1 Atom Sauerstoff und 2 Atomen Wasserstoff besteht, durch Zusammenbringen mit Kalkwasser einen Zucker zu erzeugen, den man Formose genannt hat. Es würde hiermit theoretisch ein ganz bestimmtes Kohlenhydrat als erster in der Pflanzenzelle gebildeter organischer Stoff festgestellt sein. Beweise, daß ausschließlich dieses Kohlenhydrat den Ausgangspunkt für sämtliche weitere organische Verbindungen in allen lebenden Pflanzen bildet, fehlen noch bis dahin. Man kann auch nicht wissen, ob nicht in den grundverschiedenen großen Reihen der Pflanzenformen, in den Tangen, Florideen, Moosen, Farnen, Nadelhölzern, Gräsern, Palmen usw., verschiedene Kohlenhydrate als erste organische Verbindungen aus Kohlendioxyd

und Wasser gebildet werden. Mag dem sein wie immer, so viel ist sichergestellt, daß die erste in den grünen Zellen entstehende organische Verbindung irgendein gelöstes, darum zuerst nicht sichtbares Kohlenhydrat ist, aus welchem in den meisten Fällen sehr schnell die geformte Stärke gebildet wird.

Unter dem Einfluß und durch Vermittelung des lebenden Protoplasmas und entsprechend dem Bedürfnis und den Eigenschaften der betreffenden Pflanzenart gehen nun mit diesen ersten Kohlenhydraten bei der Bildung der Baustoffe die verschiedensten Umlagerungen und Angliederungen, Einschaltungen und Ausschaltungen von Atomen vor sich.

Allen voran sind hier die Eiweißstoffe zu nennen, welche zu den wichtigsten Bestandteilen der lebendigen Protoplasten zählen. Wenn auch die chemische Zusammensetzung bisher nicht mit voller Sicherheit ermittelt werden konnte, so kann man doch sagen, daß die Eiweißstoffe Kondensationsprodukte von Aminosäuren sind. So viel ist gewiß, daß außer den Bestandteilen der Kohlenhydrate auch noch Stickstoff und 0,8—1,7 Prozent Schwefel in den Eiweißstoffen enthalten sind, daß der Kohlenstoff mit vielen Atomen an dem Aufbau eines Moleküls teilnimmt, und daß die Moleküle der Eiweißstoffe daher jedenfalls sehr kompliziert aufgebaut sind. Zweifellos entstehen in den Pflanzen Eiweißstoffe aus Kohlenhydraten und Aminosäuren. Damit aus einem Kohlenhydrat ein eiweißartiger Körper hervorgeht, müssen jedenfalls Stickstoff und Schwefel in die Verbindung eintreten. Die Quelle für das erstere Element bilden die aufgenommenen Nährsalze: Salpetersäure- und vielleicht Ammoniak-Verbindungen, insbesondere salpetersaures Kalium, welches mit dem Wasser zu den Stellen des Verbrauches hingeleitet wird. Aus dem Nitrat muß natürlich die Salpetersäure freigemacht werden, und das geschieht durch uns unbekannte Vorgänge im Protoplasma. Die frei gewordene Salpetersäure muß reduziert werden, wie die Kohlenensäure bei der Bildung von Kohlenhydraten, und man nimmt an, daß sich der in der Salpetersäure enthaltene Stickstoff zunächst mit kohlenstoffhaltigem Material zu einer Aminosäure (Asparagin, Leucin, Tyrosin) verbindet, und daß erst dann durch Vereinigung dieser mit einem Kohlenhydrat Eiweiß gebildet wird. Der Schwefel wird dem mit den Nährsalzen aufgenommenen schwefelsauren Kalk oder einem anderen schwefelsauren Salz entnommen. Man nahm früher an, daß die Oxalsäure bei der Abspaltung des Schwefels eine Rolle spiele, da man Kalziumoxalat in schönen großen Kristallen oder in Form von Drüsen und Nadeln in den Zellen sehr verbreitet findet. Doch ist die Oxalsäure wahrscheinlicher ein Produkt der Spaltung von Eiweißstoffen, als daß sie bei ihrer Bildung entsteht. Man unterscheidet von Eiweißstoffen der Pflanzen: Albumine, Globuline, Legumine und Gliadine. Der im Getreide, also auch im Mehl und Brot enthaltene, als Nahrung so wichtige Kleber ist ein Gemenge aus einem Glutenskasein und anderen Eiweißkörpern. Alle diese Eiweißkörper erscheinen in löslicher oder in unlöslicher Form. So z. B. ist das in den Mandeln enthaltene Konglutin ein lösliches Eiweiß und geht auch in Lösung über, wenn aus Mandeln mit Wasser Mandelmilch gemacht wird, während das Legumin, das in den Erbsen, Bohnen, Linjen und in den Samen anderer Hülsenfrüchte enthalten ist und gleichfalls als Nahrungsmittel eine so wichtige Rolle spielt, im Wasser ungelöst bleibt, aber durch Pepsin bei Gegenwart einer Säure in den löslichen Zustand übergeführt werden kann. Andere pflanzliche Eiweißstoffe lösen sich merkwürdigerweise in Alkohol, wie die Gliadine. Während alle diese Eiweißverbindungen eine bestimmte Form nicht erkennen lassen, erscheinen in den Proteinkörnern (auch Meuron genannt) Eiweißstoffe in schöner Kristallform als sogenannte Kristalloide (s. Abbildung S. 288, Fig. 10—12, 15 und 16).

Nächst den Eiweißstoffen ist als wichtigster Baustoff die Zellulose zu nennen. Sie ist ein Kohlenhydrat, besteht aus 6 Atomen Kohlenstoff, 10 Atomen Wasserstoff und 5 Atomen Sauerstoff und geht vielleicht aus vorher gebildeten zuckerartigen Kohlenhydraten hervor. Diese Umwandlung wird durch die lebendigen Protoplasten veranlaßt, die an ihrer Peripherie



Kristalle und Kristalloide: 1 Durchschnitt durch ein abgefallenes Blatt der wilden Rebe (*Ampelopsis hederaea*), in den Zellen teils Kristallgruppen (Drusen), teils Büschel von nadelförmigen Kristallen (Raphiden), in einer Zelle auch ein einzelner Kristall von der Form des Oktaeders; 2-5 einzelner Kristall, Drusen und Raphiden von oxalsaurem Kalk; 6 Sphärotriskal im Inneren einer blasig erweiterten Hyphe und kleine Kristalldrusen an der Außenseite der Hyphefäden von *Phallus caninus*; 7 einzelne Nadel aus einem Raphidenbüschel; 8 Durchschnitt durch ein Stück einer Kartoffelknolle mit Kristalloiden und Stärkekörnern in den Zellen; 9 Kristalloide in den Zellen einer Drüse auf dem Kartoffelblatt; 10-12 Kristalloide in Proteinkörnern (Meurontörnern); 13, 14 Fettkörper in Proteinkörnern; 15, 16 einzelne Kristalloide; 10-16 aus dem Samen von *Ricinus communis*. Alles stark vergrößert. (Zu S. 280, 287, 288.)

eine zusammenhängende Schicht aus Zellulose bilden, die man Zellhaut nennt. In der jungen Zellhaut wiegt reine Zellulose vor; je nach Bedürfnis wird diese durch den Protoplasten ganz oder teilweise verändert, und zwar durch Einlagerung von Holzsubstanz (Lignin) oder von Korksubstanz (Suberin). Die Zellulose kann auch verschleimen, wie z. B. bei der Samenhaut der Quittenkerne. In den Stämmen und Ästen der Kirschen-, Pflaumen-,

Mandel-, Aprikosen- und Pfirsichbäume wird die Zellulose häufig zu einer klebrigen, gestaltlosen, bräunlichgelben, bernsteinfarbigen Masse, welche aus den Rissen der Borke hervorquillt, erhärtet und unter dem Namen Kirschgummi (Cerasin) bekannt ist. In ähnlicher Weise bildet sich aus der Zellulose in den Stämmen einiger afrikanischen Akazien arabisches Gummi (Arabin) und in mehreren Tragantsträuchern (Astragalus-Arten) der Tragant.

Eine wichtige Rolle spielen im Pflanzenleben auch die Fette. Dieselben sind meist flüssige Verbindungen von Fettsäuren mit Glycerin und bilden zwei Gruppen. Die einen trocknen an der Luft unter Ausscheidung von Kohlensäure aus, wie beispielsweise das Mohnöl und Leinöl, die man aus diesem Grund auch in der Ölmalerei verwendet. Die anderen, z. B. Mandelöl und Olivenöl, bleiben an der Luft flüssig und bilden übelriechende Fettsäuren, eine Umwandlung, die man als Ranzigwerden bezeichnet. Die Fette werden in größerer Menge vorzugsweise in Samen und Sporen, manchmal auch in den Früchten erzeugt und dort als Reservestoffe aufgespeichert.

An diese Stoffe, welche sogleich oder nach vorhergehender Rast als Baumaterial bei dem Wachstum und der Gestaltung des Pflanzenkörpers Verwendung finden, und ohne welche die Vergrößerung und Vermehrung der Zellen sowie die Vermehrung der Gewächse gar nicht denkbar sind, reihen sich andere an, die wohl selbst nicht zu Baustoffen werden, denen aber die Aufgabe zukommt, an der Herstellung der Baustoffe tätigen Anteil zu nehmen, die Bedingungen zu schaffen, unter denen die Erzeugung und Wanderung der Baustoffe, das Wachstum und die Vermehrung stattfinden können, welche nachteilige Einflüsse abwehren, Licht und Wärme regulieren und hundert andere kleine Vorteile vermitteln.

Zu diesen Stoffen, welche unter dem Namen Hilfsstoffe zusammengefaßt werden können, gehören zunächst die Farbstoffe (Anthokyan, Anthoxyanthin, Carotin, Chlorophyll, Phykokyan, Phykoerythrin, Phykophäin usw.), welche zum Teil an besonders geformte, vom Protoplasma gebildete Körper, die sogenannten Chromatophoren, gebunden, zum Teil im Zellsaft gelöst sind. Sie sind bei der Assimilation, der Umwandlung von Licht in Wärme, der Anlockung jener Tiere, die bei der Befruchtung der Pflanzen und bei der Verbreitung der Sporen und Samen eine Rolle spielen, und noch bei vielen anderen Anlässen von Bedeutung.

Nächst den Farbstoffen sind süß schmeckende Stoffe, zumal Rohrzucker, dann auch Mannit und Dulzit hervorzuheben. Wenn auch die Bedeutung dieser süßen Stoffe erst später eingehender besprochen werden kann, so ist es doch schon hier am Platze, darauf hinzuweisen, daß z. B. von dem in den Fruchtknoten des Roggens schmarogenden, schimmelartigen Pilz, aus welchem das Mutterkorn hervorgeht, eine süße Flüssigkeit, der sogenannte Honigtau, abgeschieden wird. Diese süße Flüssigkeit, in der stets die Sporen des schimmelartigen Pilzes eingebettet sind, wird von Wespen, Fliegen und anderen Insekten aufgesucht. Indem aber diese Insekten den Honigtau saugen und lecken, heften sie sich auch die Sporen an und verschleppen diese dann auf andere Pflanzen. Unzählige Gewächse scheiden an bestimmten Stellen ihrer Blüten süßen Honig aus, der als Anlockungsmittel für jene Bienen, Hummeln und Falter dient, welche die Aufgabe haben, den Pollen oder Blütenstaub von Blume zu Blume zu übertragen. Andererseits werden wieder gewisse Tiere, deren Besuch den Blüten von Nachteil sein würde, durch den an der Basis der Laubblätter abgeschiedenen Honig von den Blüten abgehalten oder, besser gesagt, abgelenkt.

Eine andere Bedeutung für das Leben der Pflanze haben die zahlreichen ätherischen Öle, Harze und Balsame. Sie sind keine Nährstoffe, sondern Endprodukte des

Stoffwechsels, die man auch Exkrete nennt. Die ätherischen Öle sind größtenteils Kohlenwasserstoffe (Terpene), nur wenige enthalten auch Sauerstoff, wie das Kümmelöl und das Eukalyptusöl. Terpentingöl besteht vorwiegend aus Pinen mit 10 Atomen Kohlenstoff und 16 Atomen Wasserstoff. Sauerstoffhaltig sind die damit verwandten Kampferarten. Trotz ganz ähnlicher Zusammensetzung weichen die ätherischen Öle in ihren optischen Eigenschaften, im Siedepunkt und insbesondere in ihrer Wirkung auf die Geruchsnerven sehr auffallend voneinander ab, was schon an den wenigen aufgezählten Beispielen beobachtet werden kann. Es gibt Pflanzen, welche in ihrem Laub, in ihren Blüten und in ihren Früchten verschiedene riechende ätherische Öle enthalten, wie z. B. der Pomeranzenbaum, dessen Laubblätter Pomeranzenblättersöl, dessen Blüten Neroliöl und dessen Früchte Orangenöl bilden. Oft enthalten die ätherischen Öle Harze aufgelöst, und es entstehen Gemenge aus flüchtigem Öl und Harz, welche Balsame genannt werden. Die flüchtigen, weithin durch die Geruchsnerven wahrnehmbaren ätherischen Öle wirken zum Teil als Anlockungsmittel für jene Tiere, welche durch die Übertragung des Pollens oder Blütenstaubes oder durch Verbreitung der Früchte, Samen und Sporen den betreffenden Pflanzen einen Vorteil bringen; zum Teil aber werden sie zu Schutzmitteln gegen Angriffe von seiten der Tierwelt. Das letzte gilt namentlich für stark riechende Laubblätter und für harzige Früchte, welche von den Tieren als Nahrung nicht angenommen werden. Balsame, welche die aus den Knospen hervorkommenden Laubblätter wie ein Firnis überziehen, bilden ein Schutzmittel gegen zu weitgehende Transpiration, auch können sie als Schutz der Knospen gegen Nässe und dadurch bedingte Fäulnis eine wesentliche Hilfe leisten. Die aus einem Gemenge von Harz und Schleim bestehenden klebrigen Auscheidungen an den Stengeln und Blütenstielen, welche so häufig bei den Nektengewächsen vorkommen, halten die nach dem Blütenhonig lüfternen, aber als Gäste nicht willkommenen Tiere ab, welche über die Stengel zu den Blüten hinaufzuklettern versuchen. So haben denn auch diese Endprodukte des Stoffwechsels vielfach, wenn sie auch nicht der Ernährung dienen, noch biologische Bedeutung.

Als Schutzmittel des grünen Gewebes der Laubblätter, aber auch der Früchte und der unterirdischen Pflanzenteile, der Wurzeln, Rhizome, Knollen und Zwiebeln, gegen das Abgefressen- und Vertilgtwerden durch Tiere kann man vielleicht die Alkaloide und Glykoside ansehen. Alle Alkaloide zeichnen sich durch ihren Gehalt an Stickstoff aus. Einige derselben sind sauerstofffrei und flüchtig. Auch andere Stickstoffverbindungen, die Amide, finden sich in den Pflanzen, wie z. B. das in dem Kraute mehrerer Meliden und in den Blüten der Weißdornsträucher und Birnbäume und der amerikanischen Pachysandra vorkommende Trimethylamin. Zu den Alkaloiden gehören die auf den Menschen und die meisten Säugetiere als Gifte wirkenden bekannten Alkaloide Atropin, Coniin, Morphin, Nikotin, Strychnin sowie die bekannten Heilmittel Chinin, Kokain und viele andere. Die an diesen Stoffen reichen Blätter werden von den weidenden Tieren als Nahrung gemieden, und für die Pflanzen haben sie daher jedenfalls die Wirkung von Schutzmitteln gegen das Abgeweidetwerden. Das flüchtige Trimethylamin in den Blüten mag aber wohl als Anlockungsmittel für Insekten dienen. Die Glykoside, welche Ester der Zuckerarten mit aromatischen Stoffen sind, schließen sich zum Teil in ihrer Bedeutung ganz den Alkaloiden an. Das Saponin wirkt als Gift auf Menschen und Säugetiere, das Amygdalin zerfällt in die giftige Blausäure, in Bittermandelöl und Zucker, und ganz ähnlich verhält es sich auch mit vielen anderen. Das Tannin schmeckt ungemein bitter und schützt dadurch Zweige, Rinden und Früchte vor dem Abgefressenwerden. Es ist aber

interessant, zu sehen, daß bei manchen Früchten, welche durch die Vermittelung von Tieren verbreitet werden sollen, die Schale nur so lange durch bittere oder giftige Glykoside herb und ungenießbar erscheint, als die im Inneren geborgenen Samen ihre Keimfähigkeit noch nicht erlangt haben. Sobald diese keimfähig geworden sind, werden auch die Glykoside umgesetzt, sie spalten sich durch den Einfluß der später zu besprechenden Enzyme oder auch durch Säuren, welche in den unreifen Früchten reichlich vorhanden sind, in Zucker und verschiedene andere unschädliche Stoffe, und die Fruchthülle, welche bisher herb, sauer und ungenießbar war, ist jetzt süß, schmackhaft und begehrenswert geworden. Dieselbe Schale, welche früher als Schutzmittel diente, bildet jetzt ein Anlockungsmittel. Die ausgereiften Früchte mitsamt den in ihnen eingeschlossenen Samen werden jetzt als Nahrung besonders von den Vögeln aufgesucht und aufgenommen, die süße Fruchthülle wird im Magen der Tiere verdaut, die gegen Verdauungssäfte trefflich geschützten Samen dagegen werden mit den Excrementen der Tiere wieder ausgeschieden, keimen an den Punkten, wo sie abgesetzt wurden, und so wird die weiteste Verbreitung der betreffenden Pflanzen ermöglicht. Das alles soll zwar später bei Besprechung der Verbreitungsmittel der Pflanzen noch ausführlich behandelt werden, aber es ist angezeigt, dieser Vorgänge schon hier in kürzester Kürze zu gedenken, um damit zu zeigen, daß die chemische Wandlung der Stoffe in den Pflanzen mit den Bedürfnissen gleichen Schritt hält, daß selbst in einem Falle, wo die Teilung der Arbeit in der Pflanze so weit geht wie in dem eben erwähnten Beispiele, die Umlagerungen und Verschiebungen der Atome, die Spaltungen und der Aufbau chemischer Verbindungen immer zur rechten Zeit und am rechten Orte sich vollziehen, nämlich immer dann und dort, wo es für die Pflanze von Vorteil ist, und daß überhaupt alle diese Stoffwandlungen in ihrer Bedeutung nur verständlich werden, wenn man sie nicht nur mit dem Leben der Pflanzen selbst, sondern auch mit dem Leben der auf die Pflanzenwelt angewiesenen Tiere in Zusammenhang bringt.

Schon oben wurde von der Oxalsäure gesprochen. Es entstehen aber in den Pflanzen noch andere organische Säuren. Sie sind Hilfsstoffe bei den Umsetzungen oder Mittelstufen zwischen den von der Pflanze gebildeten Verbindungen. Unter diesen Verhältnissen ist es begreiflich, daß die organischen Säuren in allen Teilen der Pflanze sehr verbreitet sind, und daß die Säfte der lebenden Pflanze fast durchweg sauer reagieren. Es ist auch begreiflich, daß die Zahl der organischen Säuren eine überaus große ist. Die Apfelsäure, Oxalsäure, Weinsäure, Zitronensäure mögen als Beispiele genannt sein; man kennt aber noch mehrere hundert andere solche in verschiedenen Pflanzen beobachtete Säuren. Eine wichtige Rolle dürfte den organischen Säuren in der lebenden Pflanze auch bei der Turgeszenz der Zellen zukommen, indem sie das durch Verdunstung verloren gegangene Wasser mit großer Kraft wieder anziehen und dadurch die Turgeszenz wiederherstellen.

Eine besondere Aufgabe kommt auch den verbreiteten Aminosäuren zu, unter welchem Namen man Asparagin, Glutamin, Leucin, Tyrosin usw. begreift. Dieselben gehen einerseits durch Spaltung aus den Eiweißstoffen hervor, veranlassen aber andererseits auch wieder die Restauration der Eiweißstoffe im lebenden Protoplasma. Wenn nämlich jenes Kohlenhydrat, das bei der Spaltung neben der Aminosäure aus dem Eiweißstoff entsteht, verbraucht wird, zieht die Aminosäure wieder ein frisches, in den grünen Zellen fertig gewordenes Kohlenhydrat herbei, verbindet sich mit demselben und ergänzt sich auf diese Weise wieder zu einem Eiweißstoff, ein Vorgang, der sich unzählige Male wiederholen kann, und auf den bei der Besprechung der Atmung zurückzukommen sein wird. Auch wenn Eiweißstoffe, welche im gewöhnlichen

Zustände die Zellwände nicht passieren können, geleitet werden sollen, erfolgt wahrscheinlich zuerst eine Umwandlung in Asparagin oder eine ähnliche Aminosäure, und diese ergänzt sich dann dort, wo die Eiweißstoffe verweilen sollen, durch Hinzutreten eines Kohlenhydrates wieder zu einer Eiweißverbindung.

Endlich gehört zu den Hilfsstoffen auch noch die Gruppe der Enzyme. Diese für das Pflanzenleben äußerst wichtigen Stoffe haben die merkwürdige Eigenschaft, auf andere Stoffe spaltend (hydrolytisch) einzuwirken, ohne dabei selbst zersetzt zu werden, und können infolgedessen auch in sehr geringer Menge die weitreichendsten Wirkungen ausüben. Sie enthalten sämtlich Stickstoff, sind in den Pflanzen weitverbreitet, aber infolge des Umstandes, daß sie selbst an den Stellen des Bedarfes nur in Spuren gebildet werden, nicht immer leicht nachzuweisen. Wie sie entstehen, ist noch rätselhaft; vielleicht auf ähnliche Weise wie die stickstoffhaltigen Eiweißstoffe. Sie finden sich überall dort ein, wo feste Körper zu verflüssigen, assimilierbar zu machen sind, beispielsweise, wenn es sich darum handelt, den Vorrat an geformter organischer Nahrung, welcher in Samen, Knollen und Wurzeln längere Zeit ruhend und gleichsam außer Verkehr gesetzt war, also die sogenannten Reservestoffe, in Fluß zu bringen und wieder in den Betrieb einzubeziehen, ferner, wenn es sich darum handelt, Stoffe, welche die Zellwände nicht passieren können, in einen für diese Wanderung geeigneten Zustand überzuführen, wobei sie dann die Stoffwanderung erst ermöglichen. Weiterhin treten sie in Wirksamkeit, so oft feste organische Verbindungen als Nahrung aufgenommen, Insekten und andere Tiere von den tierfangenden Pflanzen verdaut, Pflanzenleichen von den Verwesungspflanzen zerstört oder auch die Gewebe lebender Pflanzen von den Schmarozern aufgezehrt werden sollen. Wenn die Saugzellen der Schmarozerpflanzen Säfte aus den Wirtspflanzen gewinnen wollen, wenn die aus den Pilzsporen hervortreibenden Hyphen durch die Oberhaut in das Innere der angefallenen Pflanze gelangen oder Hyphenfäden im Inneren vielkammeriger Gewebe aus einer Zelle in die andere übergehen wollen, so müssen sie die Zellwände auflösen und sich so eine Durchgangspforte schaffen. Auch dort, wo sich jene merkwürdigen, im letzten Abschnitte dieses Bandes zu behandelnden Vorgänge, die man Gärungen nennt, abspielen, sind die Enzyme beteiligt. Es ist anzunehmen, daß sie einen Bestandteil des Protoplasmas der gärungs-erregenden Organismen, z. B. der alkoholerzeugenden Hefezellen, bilden und selbst durch die Zellwand hindurch auf ihre Umgebung zerlegend einwirken.

Als wichtigstes Enzym ist erstens die Diastase zu nennen, welche die Stärkekörner löslich macht, indem sie dieselben in Zucker und Dextrin spaltet. Sie stellt sich überall ein, wo Stärke aufgespeichert wurde, und zwar dann, wenn es sich darum handelt, diese Stärke wieder nutzbar zu machen und in den Stoffwechsel hineinzuziehen. Ein weiteres Enzym ist das Pepsin, welches bei Gegenwart verdünnter Säuren die Eiweißstoffe peptonisiert, d. h. sie in einen löslichen Zustand überführt, wodurch es möglich wird, daß sie durch die Scheidewände aus einer Zellkammer in die andere übergehen. Das Pepsin, welches die Pflanzen enthalten, ist von jenem des Magensaftes der Tiere wohl nicht verschieden, sowie ja auch die Rolle, die es hier und dort spielt, im Grunde dieselbe ist. Im Tiermagen hat es die wichtige Aufgabe, die Eiweißstoffe, welche als Nahrung aufgenommen wurden, in eine lösliche Form überzuführen, damit sie in das Blut gelangen können. Auch in den tierfangenden Pflanzen kommt ein Pepsin vor. Weiter sind noch das Emulsin und das Myrosin hervorzuheben, welche die Glykoside in der schon oben angegebenen Weise zerlegen und dadurch zur Bildung von Zucker, insbesondere in den Früchten, Veranlassung geben, aber auch sonst noch

verschiedene andere Spaltungen bewirken können. So wird z. B. die Spaltung des in den Mandeln enthaltenen Amygdalins in Glykose, Blausäure und Bittermandelöl durch das Emulsin veranlaßt. Auch das Papayin, das in den Früchten der *Carica Papaya* vorkommt, sowie das Invertin, welches in der Hefe beobachtet wurde, sind zu den Enzymen zu rechnen. Man hat früher jene Stoffe, welche auf ihre Umgebung zerlegend einwirken, ohne dabei selbst eine chemische Veränderung zu erfahren, Fermente genannt, aber diesen Namen aufgegeben. Es ist aber nachgewiesen worden, daß unter Umständen auch Säuren, ja auch das Wasser bei höherer Temperatur ähnliche Wirkungen zeigen, und aus diesem Grunde kann man die Enzyme als Katalysatoren bezeichnen.

Hiermit wären die wichtigsten aus der großen Zahl aller Pflanzenstoffe hervorgehoben, deren Aufbau und Zerfall, deren Verwandlung und Wechsel für unsere sinnliche Wahrnehmung im Leben der Pflanze auftreten.

2. Die Wanderung der Stoffe in der lebenden Pflanze.

Die Ableitungs- und Zuleitungsvorrichtungen.

Daß die Zersetzung der Kohlensäure und die Bildung organischer Stoffe nur in den Zellen, welche Chlorophyllkörper enthalten, stattfinden kann, wurde bereits im ersten Abschnitte über die Ernährung erläutert. In den einzelligen, grünen Gewächsen müssen sich alle chemischen Vorzüge, welche zur Bildung von Zucker, Stärke, Zellulose, Chlorophyll, Eiweiß usw. führen, im Bereich einer einzigen Zelle vollziehen. Diese winzigen Pflanzen liefern den Beweis, daß die mit dem Wachstum und dem Aufbau verbundenen Stoffwandlungen auf engstem Raume nebeneinander und oft auch gleichzeitig stattfinden. Es ist aber schwer, sich vorzustellen, wie in dem winzigen Protoplasma Klümpchen, das den lebendigen Körper der einzelnen Zelle bildet, die verschiedensten Funktionen verteilt sind.

In einzelligen Desmidiaceen (vgl. die Tafel bei S. 22, Fig. 9 und 10) beträgt der Weg, den der in den mittelständigen Chlorophyllkörpern erzeugte Zucker zurückzulegen hat, um an die Peripherie der Zelle zu gelangen, vielleicht nur zwei oder drei Tausendstel eines Millimeters; aber es ist doch ein meßbarer Weg, und man kann daher schon von einer Wanderung und Ableitung des Zuckers in der Desmidiaceenzelle sprechen. Die Leitung wird ohne Zweifel wieder von gewissen Teilen des Protoplasmas ausgeführt, und vielleicht stehen die mannigfaltigen Stränge und Balken, welche in der Substanz des Protoplasmas beobachtet werden, hiermit im Zusammenhang. In mehrzelligen Pflanzen ist der Weg, den die Stoffe zurückzulegen haben, um an die Stellen zu gelangen, wo sie als Baustoff oder in irgendeiner anderen Weise Verwendung finden sollen, häufig auch nur auf den Raum einer einzigen winzigen Zelle beschränkt, vielfach jedoch auf eine lange Zellenreihe ausgedehnt. Das letztere besonders dann, wenn den verschiedenen Zellen einer Pflanze verschiedene Funktionen zukommen, was schon bei vielen Sporenpflanzen, noch mehr aber bei den Samenpflanzen der Fall ist. Die in den grünen Blättchen eines Mooses gebildeten Stoffe müssen, wenn sie zum Aufbau der Sporenbüchse und zur Herstellung der Sporen verwendet werden sollen, von Zelle zu Zelle zu dem am Moosstämmchen angelegten Archegonium hingeführt werden, ein Weg, der je nach den Arten von einigen Millimetern bis zu mehreren Zentimetern schwankt.

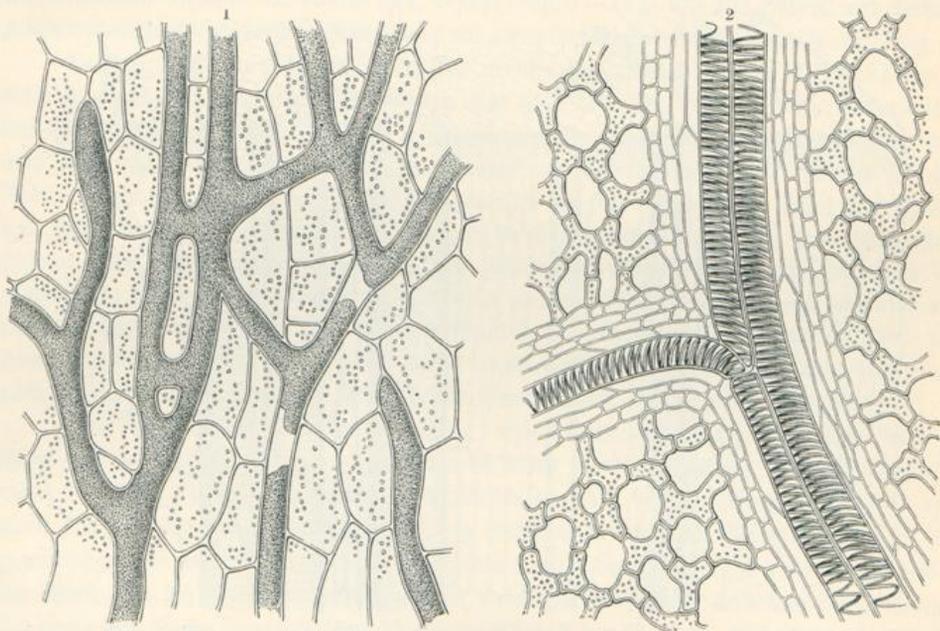
Bei den höheren, aus Zellgeweben bestehenden Pflanzen liegen die Orte der Stoffbildung und des Verbrauches weiter voneinander entfernt. Damit ist aber notwendig auch die Annahme einer weiten Wanderung der Stoffe verbunden. Die Stoffe, welche zum Weiterbau der Zweige einer Espe dienen, werden in den langgestielten grünen Blattflächen dieser Pflanze erzeugt; um in den wachsenden Zweig zu kommen, müssen sie durch den langen Blattstiel wandern und einen Weg zurücklegen, welcher die Größe jener Zellen, in denen sie gebildet wurden, mehrere tausendmal übertrifft. Und werfen wir einen Blick auf eine Palme, welche ihre wenigen, zu einem Schopfe vereinigten großen Blätter am Scheitel eines schlanken Stammes wiegt: damit die in den grünen Blättern gebildeten Baustoffe zu den wachsenden Wurzeln kommen, haben sie einen Weg von 20 und 30 m Länge zurückzulegen. Noch weiter ist wohl die Wegstrecke, auf welcher die im Laube der tropischen Lianen bereiteten Säfte geleitet werden. Daß in solchen Fällen die von den wandernden Stoffen eingehaltenen Bahnen und ebenso deren Anfangs- und Endstationen eine besondere Ausbildung erfahren, ist von vornherein zu erwarten. Was man darüber in Erfahrung gebracht hat, mag hier in Kürze zusammengestellt sein.

Als Anfangs- oder Ausgangsstation erscheint natürlich immer das grüne Gewebe. In den grünen, mehrzelligen Algen sowie in den Moosen bilden die chlorophyllhaltigen Zellen zugleich auch die Strombahn für die in ihnen gebildeten abzuleitenden Stoffe. Schon bei den Moosen entstehen in den Blättchen sehr häufig Zellenreihen und Zellenzüge, welche gegen die Basis der Blättchen, also gegen die Stellen, wo die Blättchen dem Stengel aufsitzen, zusammenlaufen, und in der Nähe dieser Stellen sind die Zellen auch entsprechend der Richtung des Stromes am meisten in die Länge gewachsen. Auch im Stengel sind die leitenden Zellen entsprechend der Stromrichtung stark in die Länge gestreckt. Eine deutliche Grenze zwischen den Zellformen an der Ausgangsstation, in der Strombahn und am Stromziel ist aber hier nicht zu erkennen.

Anders verhält es sich bei jenen Gewächsen, deren Blätter und Stengel von Gefäßbündeln durchzogen sind. Da übernehmen chlorophyllose Zellen und eigentümliche, zu Bündeln vereinigte Zellenstränge die von dem grünen Gewebe ausgehenden Stoffe, um sie zu den Stellen des Verbrauches hinzuleiten. Man bezeichnet diese Gewebe als Leitungsbahnen. Die Teilung der Arbeit hat sich demnach in allen diesen Fällen so vollzogen, daß ein Teil der Zellen die Zersetzung von Kohlenäure und die Bildung der ersten organischen Verbindungen, ein anderer Teil die Ableitung dieser ersten Erzeugnisse übernimmt, wobei selbstverständlich nicht ausgeschlossen ist, daß während der Ableitung auch noch mannigfaltige Umwandlungen der Stoffe erfolgen. Bei einer solchen Teilung der Arbeit ist es von Wichtigkeit, daß die organischen Verbindungen, welche in den oberflächlich gelegenen grünen Zellen unter dem Einfluß des Lichtes gebildet wurden, möglichst rasch aus ihren Bildungsstätten entfernt werden, damit dort der wichtige Vorgang der Kohlenäurezersehung keinerlei Störung erleide. Dieser möglichst raschen Abfuhr auf kürzestem Wege ist nun in der Weise Rechnung getragen, daß die grünen Zellen in der Richtung, nach der sie ihre Erzeugnisse fortschaffen, gestreckt, aber von zylindrischer Form sind und parallel nebeneinander liegen.

Ein Austausch von Stoffen zwischen solchen zylindrischen Zellen, d. h. eine Wanderung der Stoffe quer durch deren Langseiten hindurch, ist vollständig ausgeschlossen und die Auswanderung von Stoffen erfolgt nur in der Richtung, nach der die betreffenden zylindrischen Zellen gestreckt sind. Die Stränge, welche die von den grünen Zellen herkommenden Stoffe ableiten, sind als helle, bald zarte, bald grobe Adern in das Grün der Laubflächen eingeschaltet, verlaufen als dicke Bündel durch die Blattstiele, Zweige und Stengel und bilden bei den

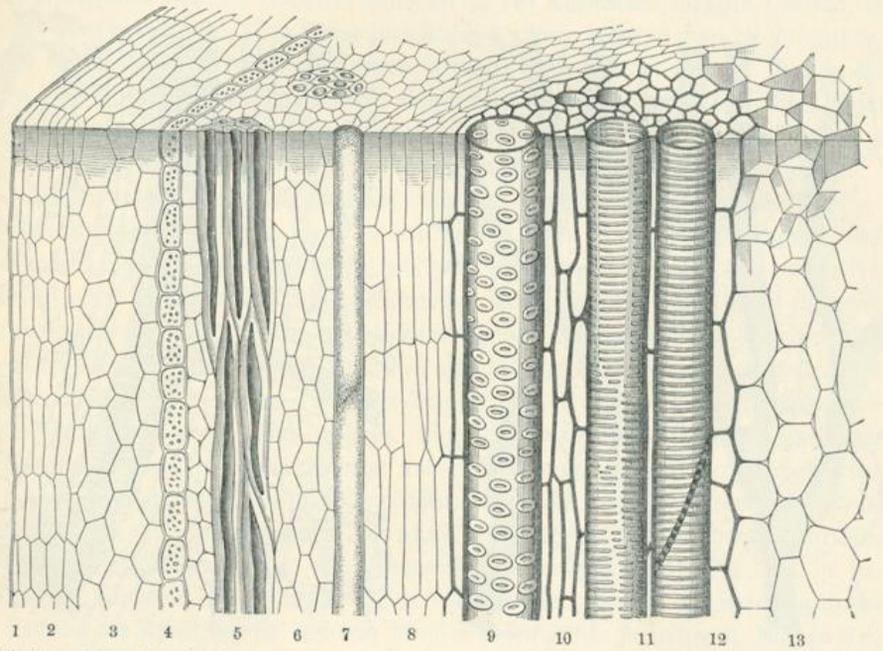
Holzpflanzen, dicht zusammengedrängt, die Hauptmasse der Stämme. Es ist schon früher gesagt, daß diese Stränge nicht nur die plastischen Stoffe ableiten. In ihnen finden sich regelmäßig auch Holzzellen, Holzröhren, welche das Wasser sowie die von den Wurzeln aufgenommenen mineralischen Nährstoffe aufwärts zu den transpirierenden Geweben führen. Endlich sind diesen zweierlei der Leitung dienenden Geweben regelmäßig noch elastische, faserförmige Bastzellen angelagert, damit das Ganze die nötige Festigkeit und Elastizität erhält. In solchen Strängen, die man Gefäßbündel nennt, finden sich demnach die verschiedensten Zellformen mit den verschiedensten Funktionen auf engem Raume vereinigt (s. Abbildung, S. 46).



Ableitungorgane: 1 Milchröhren aus einem Blatte des Giftlattichs (*Laetna virosa*), 250fach vergrößert; 2 Gefäße mit schraubigen Verdickungsleisten an den Wänden, umgeben von der Gefäßbündelscheide, aus einem Blatte von *Ricinus communis*, 210fach vergrößert. (Zu S. 295 und 297.)

Die Vorrichtungen für die Stoffleitung sind besonders deshalb bei den Pflanzen entwickelter, weil in der Pflanze die verschiedenen Stoffe, Stärke, Eiweiß, Fette u. a., nicht zu einem allgemeinen Nahrungsstoffe gemischt zirkulieren, sondern unabhängig voneinander transportiert werden müssen. Darum werden auch ihre verschiedenen Gewebe zu Leitungsbahnen benutzt. Vor allem sind es Schichten von Parenchymzellen, welche den anderen Teilen des Gefäßbündels, zumal den wasserleitenden Holzröhren und Holzzellen, angelagert sind, dieselben häufig rings umkleiden und einen förmlichen Mantel bilden, den man mit dem Namen Gefäßbündelscheide belegt hat. Diese sind besonders in den Laubblättern entwickelt und bilden dort einen Hauptbestandteil der Blattrippen und Blattadern, die als Nerven durch das grüne Gewebe ziehen (s. obenstehende Abbildung, Fig. 2). In den feineren und feinsten Äderchen, welche die letzten Endigungen der Gefäßbündel darstellen, umgeben Parenchymzellen die wenigen durch schraubensförmige Verdickungen ausgesteiften oder auch verholzten wasserleitenden Zellen, die von dem Gefäßbündel noch übriggeblieben sind.

Nächst den Gefäßbündelscheiden sind die Markstrahlen als Leitungsbahnen der von den grünen Zellen gebildeten Stoffe aufzuführen. Sie bestehen gleichfalls aus parenchymatischen Zellen und sind senkrecht auf die Achse der Stammbildung, der sie angehören, gestreckt. Sie bilden Gewebeplatten, die zwischen die Gefäßbündel eingelagert sind und das in der Mitte des Stammes gelegene Mark mit der Rinde verbinden. Im Holz haben sie verholzte Wände. Außer diesen sogenannten primären Markstrahlen bilden sich auch noch innerhalb der Gefäßbündel ganz ähnliche Platten aus parenchymatischen Zellen, welche aber mit dem Mark in der Mitte des Stammes in keinem Zusammenhang stehen und sekundäre Markstrahlen



Ausschnitt aus dem Zweige eines Laubholzes, ungefähr 200fach vergrößert, schematisch: 1 Oberhaut (Epidermis), 2 Rinde (Periderm), 3 Rindenparenchym, 4 Gefäßbündelscheide, 5 Hartbast, 6 Bastparenchym, 7 Siebröhre, 8 Kambium, 9 getripeltes Gefäß, 10 Holzparenchym, 11 Gefäße, 12 Markscheide, 13 Mark. (Zu S. 296—297.)

genannt werden. Wenn man den Zweig eines Nadelholzes oder eines Laubholzes quer durchschneidet, so erblickt man auf dem Querschnitte die Gefäßbündel in den meisten Fällen so angeordnet, daß sie zusammen einen Ring um das mittelständige, von der Markscheide umschlossene Mark (s. obenstehende Abbildung, Fig. 12 und 13) bilden; dieser Ring erscheint von den eben besprochenen Geweben unterbrochen, welche strahlenförmig vom Mark ausgehen, woraus sich der Name Markstrahlen erklärt.

Als eine dritte Form der Leitungsvorrichtungen für die in den grünen Zellen gebildeten organischen Verbindungen hat der Weichbast zu gelten. Er besteht zum Teil aus zartwandigen parenchymatischen, häufig auch engen, langen, sich an den Enden verschmälernden Zellen (Kambiformzellen), die in der Richtung des Bündels oder Stranges, dem sie angehören, gestreckt sind und ein Bastparenchym genanntes Gewebe bilden (s. obenstehende Abbildung, Fig. 6), zum anderen Teil aus Schläuchen, die in verhältnismäßig großen, oft 2 mm messenden Abständen Querwände eingeschaltet enthalten. Scharf umgrenzte Felder sowohl auf den

eingeschalteten Querwänden als auch an den seitlichen Wandungen der Schläuche sind sieb- artig durchlöchert und werden Siebplatten genannt, die Schläuche selbst aber heißt man Siebröhren (s. Abbildung, S. 296, Fig. 7). Der Weichbast bildet nur selten selbständige Stränge; in der Regel sind ihm Stränge elastischer, fester, faserförmiger Hartbastzellen, die mit der Stoffleitung nichts zu tun haben und denen nur eine architektonische Bedeutung zukommt, angelagert (Fig. 5). Dieser Faserbast oder Hartbast, mit dem Weichbaste vereinigt, bildet dann in den Gefäßbündeln die eine Hälfte, den sogenannten Bastteil, während die andere Hälfte, der sogenannte Holzteil, aus Holzzellen, die mit Holzröhren und anderen wasserleitenden Gefäßen kombiniert sind, besteht (Fig. 9—11). Die aus Holzteil und Bastteil zusammengesetzten Gefäßbündel sind häufig von einer Gefäßbündelscheide eingeschlossen (Fig. 4).

Sehr merkwürdige Leitungsbahnen für gewisse Produkte bilden die Milchröhren (s. Abbildung, S. 295, Fig. 1). Sie kommen aber nicht bei allen Pflanzen vor, sondern sind auf wenige Gruppen beschränkt. Sie erscheinen als dünnwandige, vielfach verzweigte, häufig auch netzförmig verbundene, schlauch- oder röhrenförmige Gebilde, welche alle Teile der Pflanze, Blätter, Stengel und Wurzeln, anscheinend ziemlich regellos durchziehen. Man unterscheidet mit Rücksicht auf ihre Entwicklung Milchgefäße (gegliederte Milchröhren) und Milchzellen. Erstere gehen, ähnlich den Holzgefäßen, aus Zellenreihen hervor, deren Zwischenwände sich auflösen, so daß aus den Zellenreihen Schläuche werden; letztere entstehen aus einzelnen anfänglich sehr kleinen Zellen, die sich außerordentlich verlängern, vielfach verzweigen und mit ihren Verzweigungen sich zwischen die Zellen anderer Gewebe eindrängen, ganz ähnlich wie etwa die Hyphen schmarogender Pilze in das Gewebe ihrer Wirtspflanzen hineinwachsen.

Man findet die Milchröhren, wie gesagt, nicht in allen Pflanzen. Besonders reich an ihnen sind die Wolfsmilcharten, einige Tausend Arten von Korbblütlern, worunter beispielsweise der Salat (*Lactuca*), welcher dem Milchsaft (*Lac*) seinen lateinischen Namen verdankt, der Oleander, viele *Asklepiadazeen*, die *Papaverazeen* und die *Artocarpeen*. Aus den gigantischen Stämmen der tropischen Feigenbäume quillt der Milchsaft manchmal aus Rissen der Rinde, die sich von selbst gebildet haben, reichlichst hervor und verdichtet sich zu langen Schnüren und Seilen von Federharz, die wie ein Mantel herabhängen. Besonders erwähnenswert ist hier auch der Kuhbaum von Caracas (*Galactodendron utile*), aus dem, wenn man ihn ansticht, eine Fülle süßer genießbarer Milch hervorquillt, dann die *Hevea brasiliensis* am Amazonas, welche, in der Heimat und in anderen Tropenländern angepflanzt, den besten Kautschuk liefert, endlich der Mohn (*Papaver somniferum*), dessen eingetrockneter Milchsaft als *Opium* bekannt ist. In der Mehrzahl der Fälle ist der Milchsaft weiß, bei den *Papaverazeen* findet man aber auch andere Farben. So enthält das Schöllkraut (*Chelidonium majus*) einen orangefarbenen und die Blutwurz (*Sanguinaria Canadensis*) einen blutroten Milchsaft. Auch die milchenden Blätterchwämme (*Lactarius*) führen teils weißen, teils schwefelgelben, teils orangefarbenen und mennigroten Milchsaft. Die Milchäfte sind wohl allgemein als Exkrete anzusehen, die der Ernährung nicht mehr dienen.

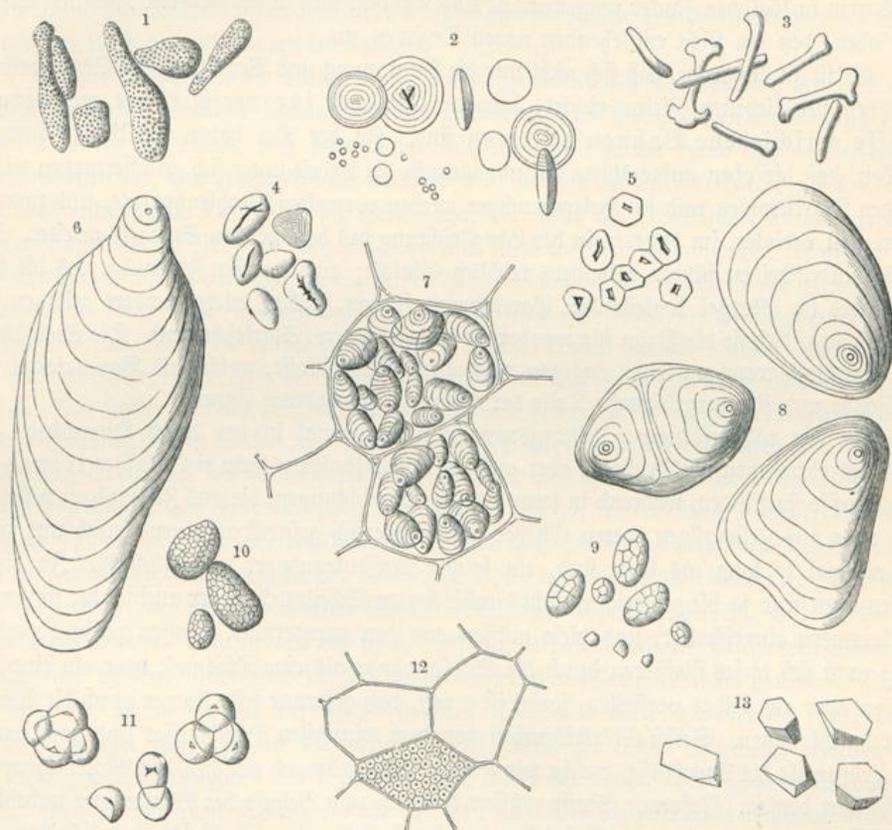
In den Laubblättern verlaufen die Milchröhren zusammen mit den Gefäßbündeln und ersetzen mitunter die Gefäßbündelscheiden; wenigstens sind dort, wo sich die Milchröhren an die Gefäßbündel anlegen, die Gefäßbündelscheiden lückenhaft und nur sehr unvollkommen ausgebildet. Auch treten in den Stammbildungen der *Asklepiadazeen*, wo die Milchröhren sehr entwickelt sind, die Siebröhren auffallend zurück; man schließt daraus, daß sich die verschiedenen Ableitungsvorrichtungen mitunter gegenseitig ersetzen und vertreten können.

In bezug auf den Anschluß der Ableitungsorgane an die grünen Zellen herrscht eine sehr große Mannigfaltigkeit. In den Blättern ist der Anschluß der stärkebildenden Zellen an die ableitenden Gefäßbündel häufig durch besonders geformte, sehr oft vielarmige Zuleitungszellen vermittelt, die selbst weniger Chlorophyll enthalten wie die Assimilationszellen. Das Ziel der wandernden Stoffe bilden in erster Linie die wachsenden Teile der Pflanze, die Wurzelenden und Zweigenden, wo die neuen Organe entstehen, überhaupt alle Stellen, wo sich den schon vorhandenen Zellen neue zugesellen, wo abgestorbene und absterbende durch frische ersetzt werden sollen und daher Baustoffe in genügender Menge vorhanden sein müssen. In zweiter Linie wird sich die Wanderung von Stoffen nach jenen Punkten richten, wo Schutz- oder Lockmittel notwendig sind, welche indirekt zur Erhaltung und Vermehrung der Art beitragen, und wo mit dem Schutz oder der Anlockung ein Verbrauch an Stoffen verbunden ist. So ist es z. B. von Wichtigkeit, daß der an gewissen Stellen in den Blüten abgeschiedene Honig, welcher den die Befruchtung vermittelnden Gästen aus der Insektenwelt zur Speise dient, stets in genügender Menge vorrätig sei und für den Fall, daß er durch Bienen oder Falter aus seinen Behältern abgeholt wurde, sofort durch neuen Zufluß ersetzt wird. Ebenso muß dafür gesorgt sein, daß in den Fallgruben und in den anderen Vorrichtungen, welche dem Tierfange dienen, Pepsin und andere zur Verdauung der Beute notwendige Substanzen in hinreichender Menge ausgebildet werden, daß die Alkaloide und bitteren Stoffe, durch welche die Wiederfäuer von dem Abfressen des Laubes abgehalten werden, in der nötigen Menge und zur rechten Zeit an die richtige Stelle gebracht werden. Der Vorgang der Vermehrung und Fortpflanzung bringt es auch mit sich, daß jene Zellen und Teile, die sich von der Pflanze ablösen und als Sporen und Samen in die weite Welt hinauswandern sollen, für die erste Zeit ihrer Selbständigkeit mit einem Vorrat von Nährstoffen ausgerüstet werden, damit sie davon so lange zehren und auf Kosten derselben so weit sich entwickeln können, als notwendig ist, um dann aus Luft, Wasser und Erde sich selbst die nötige Nahrung zu verschaffen. Die Stellen, wo sich Sporen und Samen ausbilden, werden daher gleichfalls ein wichtiges Ziel für gewisse wandernde Stoffe sein. Endlich kann es sich auch noch darum handeln, daß in Gegenden, wo ein zeitweiliger Stillstand in der Lebenstätigkeit der Pflanzen eintritt, wo das saftreiche grüne Laub infolge periodisch eintretender Dürre vertrocknet oder infolge der Winterkälte erfriert, im Sommer alle in den Blättern verbreitete Stärke oder Zucker aus den dem Untergange geweihten Blättern auswandern, an gesicherten Stellen abgelagert und zur späteren Verwendung aufgespeichert werden.

Das geschieht bei allen Pflanzen, die mit unterirdischen Reservestoffbehältern, Knollen, Rhizomen, Zwiebeln, überwintern. Hier ist es gewöhnlich die Stärke, die auf weite Strecken transportiert wird und sich in Form großer Körner in den Geweben der Speicherorgane abgelagert. Bei dieser Wanderung wird die Stärke durch das diastatische Enzym in löslichen Zucker umgewandelt, denn nur eine Lösung kann durch die zahllosen Zellwände, welche den Weg zum Ziel verlegen, hindurchgehen. In den Zellen der Speicherorgane wird die Zuckerlösung von kleinen, den Chromatophoren ähnlichen, aber farblosen Organen, den Leukoplasten oder Stärkebildnern, aufgenommen und in große Stärkekörner umgewandelt.

Die in den verschiedenen Pflanzenarten gebildeten Stärkekörner sind nach Größe und Gestalt sehr verschieden. Die meisten größeren Stärkekörner zeigen unter dem Mikroskop abwechselnde bläuliche und rötliche Zonen, was man auf Rechnung eines verschiedenen, sprungweise wechselnden Wassergehaltes bringt. Die bläulichen Zonen sind ärmer, die rötlichen

reicher an Wasser. Viele von ihnen zeigen auch einen wasserreichen Kern, der bei der Kartoffelstärke (s. untenstehende Abbildung, Fig. 8) und der Stärke aus den Knollen des Blüten-schilfes (Fig. 6) exzentrisch, bei der Weizenstärke (Fig. 2) zentral gelagert ist. An Stelle dieses Kernes kann sich infolge des Eintrocknens der Kernsubstanz auch eine Höhle ausbilden, wie z. B. im Stärkekorn der Bohnen und anderer Hülsenfrüchte (Fig. 4). In den meisten



Verschiedene Formen der Stärke: 1 aus den Samen der Rabe (*Agrostemma Githago*); 2 aus einem Weizenkorn; 3 aus der Wolfsmilch; 4 aus einem Bohnensamen; 5 aus einem Matskorn; 6 aus dem Wurzelstock des Blüten-schilfes (*Canna*); 7 aus der Kartoffelknolle (in Zellen eingeschlossen), 8 aus der Kartoffelknolle (isoliert, sehr stark vergrößert); 9 aus einem Haferkorn; 10 aus dem Samen des Lolches (*Lolium temulentum*); 11 aus der Knollenzwiebel der Zeitlose (*Colchicum autumnale*); 12 aus einem Reiskorn; 13 aus einem Hirsekorn. Sehr stark vergrößert.

Pflanzenarten haben die Stärkekörner eine rundliche Gestalt, jene der Rabe (*Agrostemma Githago*) sind dagegen spindel- und keulenförmig (Fig. 1), die der Wolfsmilcharten erinnern an kleine Röhrenknochen (Fig. 3). Wieder andere sind eckig und kantig wie Kristallfiguren (Fig. 5, 13), und zwar besonders dann, wenn die Zellen, die als Vorratskammern dienen, ganz dicht mit Stärkekörnern vollgepfropft sind, was eine Hemmung ihres Wachstumes und eine gegenseitige Abplattung zur Folge hat. In der Stärke des Hafers sowie in jener des Reises sind zahlreiche kleine, eckige Körnchen zu größeren, ellipsoidischen Körnern zusammengeklüftet (Fig. 9, 10), und in der Stärke aus den Zwiebeln der Zeitlose findet man vier oder fünf rundliche Körner, deren jedes eine Kernhöhle zeigt, zu regelmäßigen Gruppen verbunden (Fig. 11).

Die Stärke ist eine in heißem Wasser leicht aufquellbare Substanz, sie reißt das Wasser begierig an sich, verliert dabei ihre Form und bildet, ohne sich aufzulösen, den bekannten Kleister. Mit Jodlösung färbt sie sich schön blau. In den Reservestoffbehältern, z. B. einem Samen, kann die Stärke lange unverändert und wie tot verharren; wenn aber der Same keimt oder die Knolle austreibt, wird die Stärke wieder verflüssigt. Sie wird von neuem durch ein Enzym in löslichen Zucker umgewandelt und wandert nun in umgekehrter Richtung wieder nach oben, den am Licht entstehenden neuen Organen zu.

Es ist zu erwarten, daß sich nicht nur die Anordnung und Verteilung der Strombahnen nach den verschiedenen Zielen richtet, sondern daß auch für verschiedene wandernde Stoffe verschiedene Bahnen vorhanden sind. In der Tat haben die Untersuchungen ergeben, daß die oben aufgezählten Leitungsgewebe die Arbeit unter sich gewissermaßen teilen. In den Markstrahlen und im Holzparenchym werden vorwiegend Kohlenhydrate, und zwar in ersteren in radialer, im letzteren in der Längsrichtung des betreffenden Stengels geleitet. Die Gefäßbündelscheiden führen besonders reichlich Glukose; auch gewisse Zellenzüge des die Gefäßbündel im Stengel begleitenden Parenchyms führen Zucker; wieder andere zeichnen sich dadurch aus, daß sie die Bahn für wandernde Stärke bilden (Stärkecheiden). Die Siebröhren und das Bastparenchym leiten dagegen vorwiegend Eiweißstoffe, welche als Baumaterial für wachsende und sich vergrößernde Teile der Pflanze Verwendung finden.

In den röhrenförmigen Leitungsvorrichtungen, zumal in den durch Querwände gar nicht unterbrochenen Milchröhren, aber auch in den Siebröhren kann ein Massentransport der Stoffe stattfinden, während in jenen Leitungsvorrichtungen, die aus Zellenzügen bestehen, und zwar aus Zellenzügen, deren Glieder nicht sonderlich gestreckt und gewöhnlich nur zweibis viermal so lang als breit sind, ein solcher Massentransport unmöglich ist. In diesen Zellenzügen sind ja die zahlreichen nicht durchlöchernten Scheidewände der aneinander stoßenden Zellkammern eingeschaltet, und diese müssen von den wandernden Stoffen passiert werden. Mag man sich dieses Passieren durch die Scheidewände als eine Diosmose oder als eine Filtration oder als beides vorstellen, soviel ist gewiß, daß geformte feste Körper durch die Wände nicht durchkommen. Selbst Stärkekörnchen von dem winzigsten Durchmesser sind noch immer viel größer als die Durchlässe, welche wir uns in jeder Zellwand zwischen den Molekülgruppen vorhanden denken. Geformte Stoffe müssen demnach zum Behufe der Wanderung unbedingt verflüssigt werden, und wenn Stärkekörnchen durch Zellenzüge der Gefäßbündelscheiden, die aus Hunderten einzelner reihenweise aneinander schließender Zellen bestehen, wandern sollen, so müssen sie hundertmal verflüssigt und hundertmal wieder geformt werden.

Es ist auf das bestimmteste nachgewiesen, daß solche Wanderstärke nicht etwa nur am Beginn ihrer Wanderung verflüssigt und erst dann, wenn die verflüssigte Masse am Ziel angelangt ist und es die Umstände erheischen, wieder zu festen Körnern geformt wird, sondern daß, wie gesagt, in jedem der aufeinander folgenden Glieder eines Zellenzuges immer von neuem eine Verflüssigung und nach erfolgtem Durchgange durch die Scheidewand eine Formung stattfindet. Das ist ein sehr mühsamer und langwieriger Vorgang, und es drängt sich unwillkürlich die Frage auf, warum diese zahlreichen Zwischenwände in den Zellenzügen nicht beseitigt werden. Die röhrenförmigen Gefäße sind doch auch aus Zellenzügen hervorgegangen, und zwar in der Weise, daß die trennenden Scheidewände aufgelöst wurden; warum werden gerade hier die zahlreichen Querwände erhalten und dadurch die Wanderung der Stoffe kompliziert und verlangsam? Bei der Allgemeinheit und Regelmäßigkeit

ihres Vorkommens kann vorausgesetzt werden, daß sie für die Pflanze von Vorteil sind. Man könnte zunächst daran denken, daß durch diese Wände die Bahn ausgesteift und die zarten Wandungen der in der Strombahn liegenden Zellen vor dem Zusammenfallen geschützt werden. Das ist aber aus mehreren Gründen nicht wahrscheinlich. Erstens wären solche dünne Wände ein schlechtes Aussteifungsmaterial, und andererseits wäre es unerklärlich, warum die in den Nischen und Rinnen des festen Holzkörpers eingelagerten Zellen des Bastparenchyms trotz der geschützten Lage dennoch Querwände zeigen.

Es handelt sich vielmehr darum, daß ohne die Zellwand das Protoplasma gewisse Eigenschaften gar nicht betätigen könnte. Bei der Schilderung der Protoplasten am Anfang dieses Bandes wurde festgestellt, daß jeder Protoplast von einer zarten Haut von eigentümlicher Molekularstruktur, dem Hyaloplasma, umgeben ist. Infolge der Wasseranziehung des Körnerplasmas entsteht ein Druck auf die Hautschicht, den man als osmotischen Druck bezeichnet. Dieser Druck in der Zelle ist ganz erheblich und kann mehrere Atmosphären betragen. Die Zellmembranen bilden das Widerlager für diesen Druck, sie werden durch ihn gespannt und pflanzen ihn fort. Das Zustandekommen des osmotischen Druckes aber befähigt erst die Zelle Arbeit zu leisten, in der die Aufgabe des Lebens besteht. Durch den osmotischen Druck erhalten die einzelne Zelle, aber auch der ganze Pflanzenkörper und seine einzelnen Organe erst ihre Form. Das kann man leicht feststellen, indem man den Zellendruck durch Hinderung der Wasserzufuhr herabsetzt: dann welken die Pflanzenteile, schrumpfen, fallen zusammen und verlieren vollständig ihre Form, die sie unter Umständen wieder annehmen, wenn man den Wasserdruck wieder herstellt. Ohne Zellwände wäre die Pflanze also gar nicht in ihrer Form existenzfähig. Aber auch Lebensarbeiten beherrscht der osmotische Druck, Wachstum und Reizbewegungen sind von ihm abhängig. Demnach ist der osmotische Druck und die darauf berechnete Zellstruktur das Gegebene, dem sich die anderen Lebensforderungen anpassen müssen, so auch die Ernährungsvorgänge. Und sie tun das auch, denn wir erkennen, daß die Millionen Zellwände, welche eine Pflanze unweegsam für die Stoffbewegung machen, gar kein Hindernis bilden, da wir die Stoffbewegung verfolgen können. Wie aber diese Hindernisse überwunden werden, darüber fehlt uns die Einsicht, und wir stehen vor einem scheinbaren Widerspruch mit sonstigen Erfahrungen. Die Stoffbewegung bildet für unsere theoretische Erklärung ein großes Rätsel. In allen Fällen, wo die lebenden Protoplasten von einer Zellhaut umgeben sind, müssen die Baustoffe und Stoffwechselprodukte von außen her durch die Zellhaut und die Hautschicht des Protoplasmas in das Innere der Zelle gelangen, wie andererseits wieder jene aufgenommenen Substanzen, die von einer Zelle nicht selbst benutzt werden, auf demselben Wege wieder entlassen und ausgeschieden werden müssen. Es muß daher die Zellhaut und die Plasmahaut der mit der Nahrungsaufnahme beschäftigten Protoplasten einen entsprechenden Bau zeigen, und es müssen deren kleinste Teile so geordnet sein, daß, unbeschadet der Festigkeit, ein Durchgang sowohl der aufzunehmenden Nahrung als auch der auszuscheidenden Stoffe möglich ist. Diese Durchlässe in der Zellwand sind jedenfalls noch viel enger als die früher geschilderten feinen Porenkanäle, durch die ungemein zarte Protoplasmastränge laufen, und sie haben so geringe Dimensionen, daß sie selbst mit den besten Mikroskopen nicht wahrgenommen werden können. Dennoch muß man aus einer Reihe von Erscheinungen auf ihr Vorhandensein schließen und annehmen, daß die Zellhaut wie andere Körper nicht aus einer ununterbrochenen Substanz, sondern aus kleinsten Teilchen besteht, die man Moleküle nennt, welche durch unendlich kleine Zwischenräume voneinander getrennt sind.

Diese Zwischenräume können sich verengern und erweitern, indem auf den Verband der Moleküle zwei Kräfte einwirken, von denen die eine sich als gegenseitige Anziehung der Atome und Atomgesellschaften (Mizellen) äußert, während die andere die Atome und Moleküle auseinander treibt. Die erstere dieser Kräfte, die allen Stoffteilchen innewohnende Anziehungskraft, wird chemische Verwandtschaft genannt, wenn sich durch sie Atome verschiedener Art zu einem Moleküle verbinden; sie heißt dagegen Kohäsion, wenn sich gleiche Moleküle untereinander festhalten, und Adhäsion, wenn Massen von Molekülgruppen bei Berührung ihrer Oberflächen einander festhalten.

In die Zwischenräume zwischen den die Zellhaut bildenden Molekülen und Molekülgruppen können Moleküle anderer Stoffe von außen eindringen. Allerdings nur dann, wenn die einzulassenden Moleküle nicht größer sind als die Zwischenräume und nur für den Fall, daß zwischen den Molekülen der Zellwand und denen des einzulassenden Körpers jene Anziehungskraft besteht, die man als chemische Verwandtschaft bezeichnet. Beide Voraussetzungen treffen für die Moleküle des Wassers zu, und diese werden auch erfahrungsgemäß durch Zellwand und Plasmahaut leicht eingelassen. Die Zellhaut trinkt sich mit Wasser, oder, wie der technische Ausdruck lautet, sie hat die Fähigkeit, Wasser zu imbibieren. Die Anziehungskraft der Zellhautmoleküle zu denen des Wassers ist sogar so groß, daß dadurch die Kohäsion der Zellhautmoleküle überwunden wird und diese durch das imbibierte Wasser auseinandergedrängt werden. Die Zellhaut quillt infolgedessen auf und nimmt an Umfang zu.

Auch in Wasser gelöste Stoffe, z. B. Salze, Zucker und andere, treten mit dem Wasser leicht durch die Zellhaut hindurch in das Innere der Zelle ein. So scheint denn die Zellmembran gar kein Hindernis für die Stoffwanderung zu bilden, und sie ist es in diesem Sinne auch nicht. Vielmehr liegt die Schwierigkeit, sich eine Aufnahme von Stoffen in die Zelle klar vorzustellen, im Verhalten der Plasmahaut. Sie läßt, wie die Beobachtung zeigt, weder, wie die Zellulosemembran, die zur Ernährung nötigen Stoffe hinein-, noch einmal aufgenommene oder in der Zelle erzeugte Stoffe wieder heraustreten. Ein Zellgewebe, das Zucker oder einen löslichen Farbstoff enthält, gibt, wenn wir es ins Wasser legen, nichts von diesen Stoffen ab, obwohl das Wasser fort und fort in die Zellen hineingezogen wird. Diese Hemmung eines Austausches liegt, wie die Untersuchungen von Pfeffer, de Bries und anderen ergeben haben, in den merkwürdigen Eigenschaften der Plasmahaut, die mit den physikalischen Eigenschaften sogenannter semipermeabler Membranen übereinzustimmen scheint, d. h. wohl das von dem osmotisch aktiven Körnerplasma angezogene Wasser einseitig durchläßt, aber dafür nichts nach außen treten läßt, wie das eine gewöhnliche tierische Membran bei osmotischen Experimenten tut. Durch diese einseitige Wasseraufnahme wird die Entstehung des osmotischen Druckes verständlich, aber dem Verständnis der Stoffwanderung stehen diese Eigenschaften des Protoplasmas entgegen. Da aber ein Stoffeintritt und -austritt in die Pflanzenzellen ganz offenbar stattfinden muß, wie der Erfolg der Stoffwanderung ergibt, so müssen wir annehmen, daß die osmotischen Eigenschaften der Plasmahaut keine unveränderlichen sind, und daß eine Regulierung der Stoffbewegungen durch die Plasmahaut selbst stattfindet. Wie? das ist einstweilen schwer zu sagen. Allein, wenn gewöhnlich solche Vorgänge im Organismus, deren Bedingungen wir nur zum Teil kennen, als vitale bezeichnet werden, so ist mit diesem Wort nur eine Rubrizierung, nicht aber eine Erklärung gegeben.

VI. Die Ernährung unter Benutzung organischer Substanzen.

1. Die insektenfressenden Pflanzen (Insektivoren).

In der bisherigen Darstellung ist die Ernährungsweise nur eines Teiles der ganzen Pflanzenwelt geschildert worden, nämlich der mit dem grünen Farbstoff, dem Chlorophyll, begabten Pflanzen. Sie haben die Art der Ernährung, die für die Pflanzen eigentümlich ist und den Tieren fehlt. Da diese Pflanzen für ihre Ernährung mit den in der Natur gegebenen Bedingungen der Atmosphäre und dem Boden auskommen und nicht an die Existenz anderer Lebewesen gebunden sind, so kann man sie auch selbständige (autotrophe) Pflanzen nennen.

Aber, wie schon auf S. 51 angedeutet, gibt es nicht bloß einige, sondern eine gewaltige Menge Pflanzen, die sich anders ernähren. Sie sind alle abhängig von der Existenz anderer Pflanzen oder Tiere. Freilich zeigt diese Abhängigkeit sehr verschiedene Grade. Eine Gruppe dieser Pflanzen kann wenigstens noch den größten Teil ihrer organischen Nahrung selbst synthetisch herstellen, muß aber bei außer ihnen liegenden Quellen Anleihen machen, um mit Erfolg wirtschaften zu können. Die andere Gruppe dagegen ist gänzlich unselbständig geworden und gezwungen, alle ihre Baustoffe durch andere Organismen erarbeiten zu lassen und sie diesen entweder während ihres Lebens zu entreißen oder erst nach dem Absterben und Zerfall dieser Lebewesen sich anzueignen.

Die Trennung dieser ernährungsphysiologisch verschiedenen Pflanzen ist nun keine scharfe, es führen von den selbständigen Pflanzen zu den abhängigen Gewächsen sehr merkwürdige Übergänge hinüber, deren Betrachtung eine Fülle neuer Tatsachen und eine weitere Einsicht in die eigentümlichen Entwicklungsgänge in der Natur kennen lehren wird.

Die interessanteste Erscheinung unter den mit Chlorophyll begabten Pflanzen, welche abweichend von ihren Genossen organische Nahrung aufnehmen, bilden die Insektivoren. Es ist jedoch nicht nur das Nährmaterial, welches hier die Aufmerksamkeit auf sich zieht, sondern noch viel mehr die Form der Organe, nämlich auf das seltsamste umgestaltete Blätter, durch welche die Nahrungsaufnahme erfolgt. Aber die insektenfressenden Pflanzen weichen weiter darin von den übrigen Pflanzen sichtlich ab, daß sie diese Blätter, die zunächst die Aufgabe beibehalten haben, in ihrem Chlorophyll Stärke zu bilden, gleichzeitig zur Aufsaugung organischer Stoffe benutzen. Bei vielen Insektivoren sind die Fangorgane mit unzähligen Drüsen versehen, welche ein pepsinähnliches Enzym ausscheiden. Durch dieses Enzym werden die weichen Teile der Insektenkörper verdaut, und es wäre somit richtiger, diese biologische Pflanzengruppe nicht

fleischfressende, sondern fleischverdauende Pflanzen zu nennen, jedoch sind noch nicht bei allen Insektivorenformen verdauende Enzyme nachgewiesen worden. Wie aus den folgenden Erörterungen hervorgehen wird, deckt sich übrigens keiner dieser Namen vollständig mit den merkwürdigen Vorgängen, und es ist auch kaum möglich, eine nicht allzu schwerfällige, mundgerechte kurze Bezeichnung zu finden, welche alle Mißverständnisse von vornherein ausschließt. Unter dem Namen insektenfressende Pflanze hat sie Darwin durch ein Buch allgemeiner bekannt gemacht. Einige von ihnen sind seit Linnés Zeiten bekannt. Ein Bremer Arzt, Dr. A. W. Roth, machte 1782 zuerst auf den Insektenfang unserer heimischen *Drosera*-Arten aufmerksam.

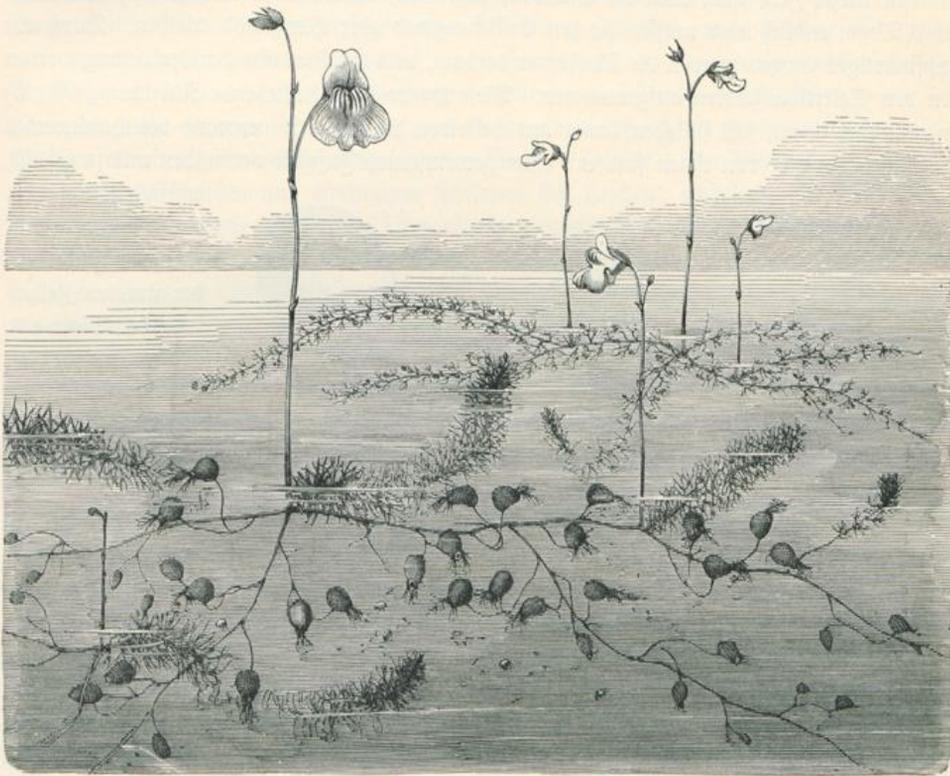
In runder Zahl kann man die Gewächse, welche Tiere fangen und als Nahrung ausnutzen, auf fünfhundert veranschlagen. In diesem verhältnismäßig kleinen Kreis ist aber die Mannigfaltigkeit der Einrichtungen zum Fang und zur Nahrungsaufnahme so groß, daß man zur übersichtlichen Darstellung mehrere Gruppen unterscheiden kann.

Pflanzen mit Fallen und Fanggruben für Tiere.

Zunächst ergibt sich als erste Abteilung eine Reihe von Formen, bei denen Hohlräume ausgebildet sind, in welche kleine Tiere zwar hinein-, aber nicht mehr herauskommen können. An den Fangorganen solcher Pflanzen sind keinerlei äußerlich sichtbare Bewegungen zu beobachten, und dadurch unterscheiden sie sich von den Formen einer anderen Abteilung, die infolge eines von den berührenden Tieren ausgehenden Reizes bestimmte Bewegungen ausführen, um dadurch die Beute festzuhalten und zugleich mit möglichst viel Verdauungssaft in Berührung zu bringen. Endlich ergibt sich noch eine dritte Abteilung, deren Formen weder Fallgruben zeigen, noch auch besondere Bewegungen ausführen, deren Blätter aber Leimspindeln darstellen, an denen die Tiere kleben bleiben und verdaut werden.

Die umfangreichste Gruppe der ersten Abteilung ist die der Utrikularien oder Wasserschlauchgewächse. Ihre Fangvorrichtungen stellen kleine Blasen dar, deren Mundöffnung durch eine Klappe verschlossen ist, die wohl ein Eindringen in den Hohlraum der Blase gestattet, aber eine Rückkehr aus demselben unmöglich macht. Die Utrikularien sind Pflanzen ohne Wurzeln, die sich im Wasser schwebend erhalten und je nach der Jahreszeit bald zum Grunde der Wasseransammlung hinabsinken, bald wieder in die obersten Schichten emporsteigen. Wenn der Winter heranrückt und das Tierleben in den oberen erkaltenden und erstarrenden Wasserschichten zu Ende geht, häufen sich die Blätter an den Spitzen der Stengel zu kugeligen Winterknospen, die Stengel samt den älteren Blättern werden fahlgelb und gehen in Verwesung über, die dunkelgrünen Winterknospen, welche sich lebend erhalten, lösen sich ab, schwimmen eine Zeitlang auf dem Wasserspiegel, sinken aber schließlich auf den schlammigen Grund des Wassertümpels hinab, wo sie unverändert überwintern. Nach überstandnem Winter kommen diese Knospen wieder in die oberen Wasserschichten, wo sich bereits unzählige kleine Wassertiere herumtummeln, empor, strecken sich in die Länge und entwickeln hier in rascher Aufeinanderfolge zweizeilig gestellte ausläuferartige Seitestengel. Diese sind entweder sämtlich gleichmäßig mit zwei Reihen von Blättern besetzt, die in haarfeine, wiederholt gabelig geteilte Zipfel gespalten sind, oder es ist nur die eine Hälfte mit solchen Blättern bekleidet, während die andere Hälfte die erwähnten Blasen trägt. Die Blasen sind umgebildete Blätter. Die erstere Form der Blattbildung zeigt die im Hintergrunde

der untenstehenden Abbildung dargestellte *Utricularia minor*, die letztere die im Vordergrund dargestellte *Utricularia Grafiana*. Bei jener sieht man an den Hauptabschnitten der Blätter, und zwar gewöhnlich ganz nahe ihrer Abzweigung, an kurzen Stielchen die schief ellipsoidischen Blasen, welche bei den kleineren Arten, wie namentlich bei *Utricularia minor*, 2 mm Durchmesser haben. Bei dieser sind die Blasen länger gestielt und besitzen einen Durchmesser von 5 mm. Die Blasen sind immer blasgrünlich, teilweise durchscheinend, von zwei Seiten her etwas zusammengedrückt und lassen eine stark gewölbte Rücken- und eine kaum

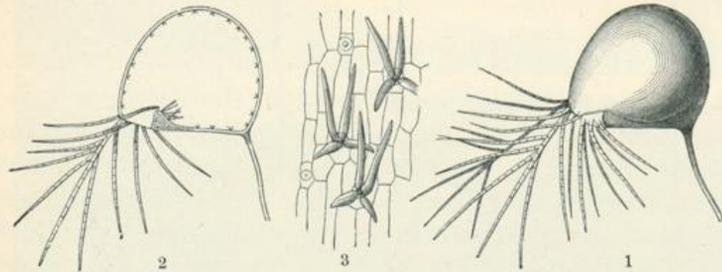


Wasserschlauchgewächse: Im Vordergrund *Utricularia Grafiana*, im Hintergrund *Utricularia minor*.

merkbar gekrümmte Bauchseite erkennen. In das Innere dieser gestielten Blasen führt eine Mundöffnung, deren Umrahmung mit eigentümlichen steifen, spitz auslaufenden Borsten besetzt ist (s. Abbildung, S. 306, Fig. 1). Der rundlich-viereckige Mund selbst ist wie von Lippen umrandet; die Unterlippe ist stark verdickt und mit einem gegen das Innere der Blase vorspringenden festen Wulste versehen. Von der Oberlippe geht eine dünne, durchscheinende, schief gestellte Klappe aus (s. Abbildung, S. 306, Fig. 2), welche mit ihrem freien Rande der Innenseite des Unterlippenwulstes anliegt und die ganze Mundöffnung verschließt. Diese Klappe ist sehr elastisch und gibt jedem von außen kommenden Drucke leicht nach. Selbst ein winziges an dieselbe anstoßendes Tier vermag sie ohne Schwierigkeit von der Unterlippe weg in den Innenraum der Blase vorwärts zu drängen und durch den gebildeten Spalt hineinzuschlüpfen. Sobald aber das Tier in den Hohlraum gelangt ist und der Druck auf die Klappe aufgehört

hat, legt sich die Klappe vermöge ihrer Elastizität der Unterlippe wieder an. Durch einen Druck von innen kann die Klappe nicht geöffnet werden; sie liegt nämlich mit ihrem freien Rande so auf dem vorspringenden Wulste der Unterlippe auf, daß es dem kleinen Tier unmöglich ist, sie über denselben hinaus nach zu außen drängen.

Die ganze Vorrichtung ist demnach eine Falle, welche das Hineinschlüpfen, aber nicht das Hinausschlüpfen gestattet. Die meisten in die Blasen geratenen Tiere machen zwar verschiedene Anstrengungen, um dem Gefängnis zu entkommen, es ist jedoch alles vergeblich. Manche gehen schon in kurzer Zeit, nach etwa 24 Stunden, zugrunde, andere leben noch 2—3, ja manche bis 6 Tage; endlich aber müssen sie den Erstickungstod oder Hungertod erleiden. Durch ein trypanartiges Enzym werden die Tierkörper verdaut, und die Produkte der Verdauung werden von den Sekretionshaaren aufgenommen. Diese Haare (s. untenstehende Abbildung, Fig. 3) sind länglich-lineal, fast stäbchenförmig und bekleiden die ganze Innenwand des Hohlraumes der Blase. Je vier von ihnen sind mit einer gemeinsamen Fußzelle verbunden und so gestellt,



Fallen der *Utricularia neglecta*: 1 eine Blase, 4fach vergrößert, 2 Durchschnitt derselben; hinter den Borsten die Klappe, welche dem Wulste der Unterlippe aufliegt, 3 Sekretionszellen an der Innenwand der Blase, 250fach vergrößert. (Zu S. 305 und 306.)

daß sie zusammen ein Kreuz bilden. Die Fußzellen selbst sind der inneren Zellenlage der Blase eingefügt. Durch diese sternförmig gruppierten Zellen werden nun wahrscheinlich die organischen Stoffe aus den in

Versehung übergehenden Leichnamen der gefangenen Tiere aufgesogen und gehen von da zunächst in die Fußzellen und weiterhin in die anderen angrenzenden Zellen der Blase und der ganzen Pflanze über.

Die in die Blasen hineinschlüpfenden Tiere gehören der Mehrzahl nach den Krebsen an. Zumeist sind es Larven, seltener auch ausgewachsene Individuen kleiner Cypris-, Daphnia- und Cyclops-Arten, die in die Falle gehen; aber auch Larven von Mücken und verschiedenen anderen Insekten, kleine Würmer und Infusorien werden bisweilen in den Blasen gefangen angetroffen. Die Zahl der gefangenen Tierchen ist verhältnismäßig groß. In einzelnen Blasen wurden die Nester von nicht weniger als 24 kleinen Krebsen beobachtet. Sehr reichlich ist die Beute, welche die in den kleinen stehenden Tümpeln der Torfmoore lebende *Utricularia minor* (s. Abbildung, S. 305) macht. Auch die nordamerikanische *Utricularia clandestina* scheint mit ihren Fangvorrichtungen besonders guten Erfolg zu haben.

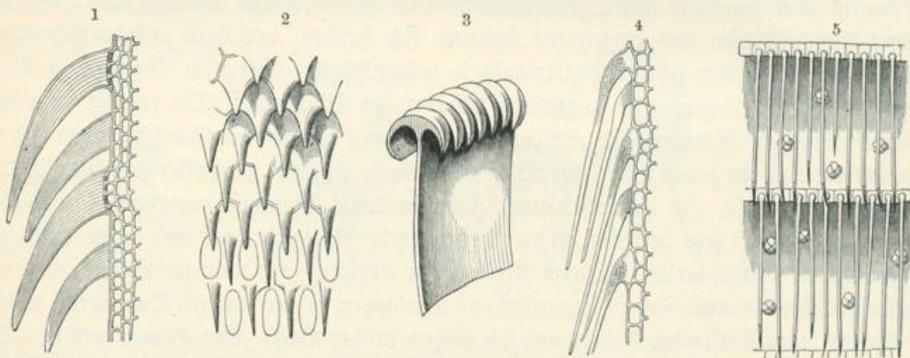
Was die Tiere veranlaßt, die Klappen aufzudrücken und so in die Falle zu gehen, ist nicht ganz aufgeklärt. Man könnte annehmen, daß sie in dem Hohlraume der Blase Nahrung vermuten, oder daß sie darin ein Obdach zu zeitweiliger Ruhe oder auch Schutz gegen Verfolger zu finden hoffen. Für die letztere Auffassung würde besonders der Umstand sprechen, daß der Zugang zu der von der Klappe verhüllten Mundöffnung der Blasen durch vorgestreckte starre und spitze Borsten, bei einigen tropischen Formen auch durch größere, sonderbar geformte Anhängsel größeren Tieren verwehrt ist (s. obige Abbildung, Fig. 1). Es wurde nämlich beobachtet, daß nur sehr kleine Tiere, welche zwischen den verhältnismäßig großen Borsten

leicht hindurchschlüpfen, in das Innere der Blasen gelangen, größere dagegen, welche die ganze Vorrichtung schädigen könnten, von der Annäherung durch die Borsten abgehalten werden. Hiernach ist es das Wahrscheinlichste, daß die von größeren Tieren verfolgten kleineren sich in die Schlupfwinkel hinter den Borsten zu flüchten suchen und dabei in die Falle geraten. Bemerkenswert ist auch der Umstand, daß die Blasen der in stehenden Gewässern lebenden Utricularien gewissen Muschelkrebse, zumal den Arten der Gattung *Daphnia*, täuschend ähnlich sehen. Die Blase selbst zeigt Größe und Form des von den Schalen bedeckten Körpers, und die Borsten gleichen den Antennen und Schwimmsfüßen dieser Krebse. Ob auch dieser sonderbaren Ähnlichkeit der Gestalten irgendeine Bedeutung zukommt, mag dahingestellt bleiben.

Die Mehrzahl der Utricularien lebt in Wassertümpeln, in den moorigen Gründen längs der Flußläufe, auch in den kleinen Wasseransammlungen zwischen Niedgraspolstern in den Torfsümpfen, wo so recht der Tummelplatz jener kleinen Geschöpfe ist, die in die Falle gehen sollen, und wo in jeder Handvoll herausgeschöpften Wassers Hunderte von Rückenlarven, Wasserflöhen, Muschelkrebse und einäugigen Kyplophen sich haschen, verfolgen und durcheinander fahren. Eine Art dieser Gewächse (*Utricularia nelumbifolia*) wohnt im Orgelgebirge Brasiliens in den mit Regenwasser angefüllten Nischen der Tillandsien. Die rosettig gestellten hohlkehlenförmigen Blätter dieser mit der Ananaspflanze verwandten Gewächse legen sich so aufeinander, daß vor jedem Blatt eine Nische oder Grube entsteht, welche sich wie eine Zisterne mit Regenwasser füllt. In diesen seltsamen Zisternen treibt sich immer mancherlei kleines Getier herum, und fast jede derselben ist der Schauplatz der Tätigkeit eines oder mehrerer Stöcke der genannten *Utricularia*. Mehrere Arten leben übrigens gar nicht im Wasser, sondern wachsen zwischen Laubmoosen, Lebermoosen und Bärlappen in der feuchten Dammerde, welche die Spalten und Klüfte der Felsen und die Ritzen in der Rinde alter Bäume erfüllt. So z. B. die zierliche brasilische *Utricularia montana*, die trotz des so abweichenden Standortes doch mit Fangvorrichtungen ausgestattet ist, welche der früher gegebenen Schilderung in allen wesentlichen Stücken entsprechen. Die Blasen, welche diesen Pflanzen zum Erbeuten der Tiere dienen, entwickeln sich an unterirdischen fadenförmigen, die Dammerde und das Gefäß der verwesenen Moosstämmchen durchspinnenden und stellenweise zu Knöllchen angeschwollenen Stengeln, sind glashell und durchsichtig, mit wässriger Flüssigkeit, mitunter auch mit Luft gefüllt, nur 1 mm groß, aber sehr zahlreich. Der Eingang in die Höhlung der Blase ist weit mehr versteckt als bei den wasserbewohnenden Arten. Dadurch, daß der Rücken der Blase noch stärker gewölbt und gekrümmt ist, erscheint die Mundöffnung sogar dem Stielchen der Blase ganz nahe gerückt; auch erscheint die Mundöffnung gleichsam überdacht und dadurch gegen die Verstopfung mit Erdteilchen geschützt, und es führt nur ein sehr enger Gang zu ihr hin. Daß dennoch zahlreiche winzige Tiere hier einen Schlupfwinkel zu finden glauben, beweist der Umstand, daß man in diesen Blasen nebst verschiedenen in feuchter Erde lebenden Infusorien auch *Acarus*-Arten und Larven verschiedener anderer Tiere als Leichen gefunden hat.

Noch sonderbarer ist die mit den Utricularien durch den Blüten- und Fruchtbau nahe verwandte Gattung *Genlisea*. Zu dieser gehören ungefähr ein Duzend im Wasser und an sumpfigen Orten wachsende Arten, von denen eine das tropische und südliche Afrika bewohnt, während die anderen in Brasilien und Westindien heimisch sind. Neben spatelförmigen gewöhnlichen Blättern besitzen die meisten dieser *Genliseen* auch Blattgebilde, die zu Fallgruben umgestaltet sind. Jede Fallgrube besteht aus einem engen, langen, zylindrischen Schlauche, der an seinem blinden Ende blasenförmig erweitert, an der gegenüberliegenden

schmalen Mündung mit zwei eigentümlichen, schraubig gedrehten, bandförmigen Fortsätzen versehen ist. Die Schlauchmündung ist mit sehr kleinen, spitzigen, einwärts gekrümmten Zähnen besetzt, und der röhrenförmige Teil des Schlauches ist entlang seiner ganzen Innenwand mit unzähligen kleinen Borstchen ausgekleidet, die von leistenartig in den Innenraum vorspringenden Zellenreihen ausgehen und mit ihren scharf zugespitzten Enden nach abwärts gerichtet sind (s. untenstehende Abbildung, Fig. 5). Außerdem finden sich über die ganze Wand verstreut unter und zwischen diesen Nadeln noch kleine, rundliche, aus vier oder acht Zellen zusammengesetzte, warzenförmige Drüsen. Der blasenförmige Hohlraum, in welchen der Schlauch unten übergeht, ist in seinem Grunde ohne spitze Borsten und zeigt nur reihenweise gestellte Drüsen. Kleine Würmer, Milben und andere Gliedertiere können durch die Mündung des Schlauches leicht bis zum erweiterten Grunde gelangen. Sobald sie aber den Rückweg anzutreten versuchen, starren ihnen die Spitzen von tausend kleinen Borsten entgegen. Sie sind



Stachelige Gebilde in den Fallgruben tierfangender Pflanzen: 1 *Heliophora nutans*; Stacheln an der Wand der Fallgruben; 2 *Sarracenia purpurea*; ein Stück des Schlauches aus der Nähe der Mündung, von innen gesehen; 3 *Nepenthes hybrida*; Stachelbesatz an der Mündung der Röhre; 4 *Sarracenia purpurea*; Längsschnitt durch die mit Stachelborsten besetzte Haut im unteren Teile des Schlauches; 5 *Genlisea*; ein Stück der Röhre von innen gesehen. 1, 3, 4 und 5 stark, 2 schwach vergrößert. (Zu S. 308, 309, 310 und 318.)

gefangen, verenden, und die Zeretzungsprodukte ihrer Leichname werden durch die erwähnten Drüsen im Grunde der Blase und an den Wandungen des Schlauches aufgefogen.

Dieser ersten Gruppe tierfangender Pflanzen, deren Fangvorrichtung teils mit einer Klappe versehen ist, welche den in die Falle gegangenen Tieren den Rückweg verlegt, teils diesen Rückweg durch unzählige, die Innenwand der Hohlräume bekleidende, abwärts gerichtete Spitzgen versperrt, schließt sich eine zweite Gruppe an, deren ganze Laubblätter zu schlauchförmigen Fallgruben umgestaltet sind. Der Gestalt nach sind diese Fallgruben außerordentlich verschieden. Bald sind es röhren-, schlauch- und trichterförmige Höhlungen, bald sind diese gerade, bald sichelförmig aufgebogen oder schraubig gedreht; stets gehen sie aus einer Blattanlage durch eigentümliches Weiterwachstum hervor.

An jeder Fallgrube ist immer dreierlei zu unterscheiden: zunächst ein Anlockungsmittel für die Tiere, zweitens eine Einrichtung, welche die angelockten Tiere zu Falle bringt und zugleich verhindert, daß die einmal in das Verlies Gefallenen zurückkehren und durch die Eingangspforte wieder entchlüpfen, und drittens ein Vorgang, welcher die Zeretzung oder Auflösung der im Grunde der Fallgruben verendeten Tiere veranlaßt und die Aufnahme der Zeretzungsprodukte als Nahrung möglich macht. Die Anlockungsmittel sind ähnlich denjenigen, welche kleine Tiere zum Besuch der Blüten veranlassen, vor allem Honig und dann häufig

auch lebhaft bunte Farben, durch welche die honigabsondernden Stellen den Tieren, zumal den geflügelten Insekten, auf weithin kenntlich gemacht werden. Das Entweichen der einmal in der Höhlung des Blattstieles eingefangenen Tiere wird durch einen Besatz aus spitzen, nach abwärts gerichteten Haaren oder mannigfaltigen stachelförmigen Bildungen an der Innenwand der Höhlung verhindert (s. die Abbildungen auf S. 308). Die Zersetzung und Auflösung der gefangenen Tiere vermitteln Flüssigkeiten, welche von besonderen Zellen im Grunde der Schläuche und Rannen ausgeschieden werden.



Sarracenia purpurea.

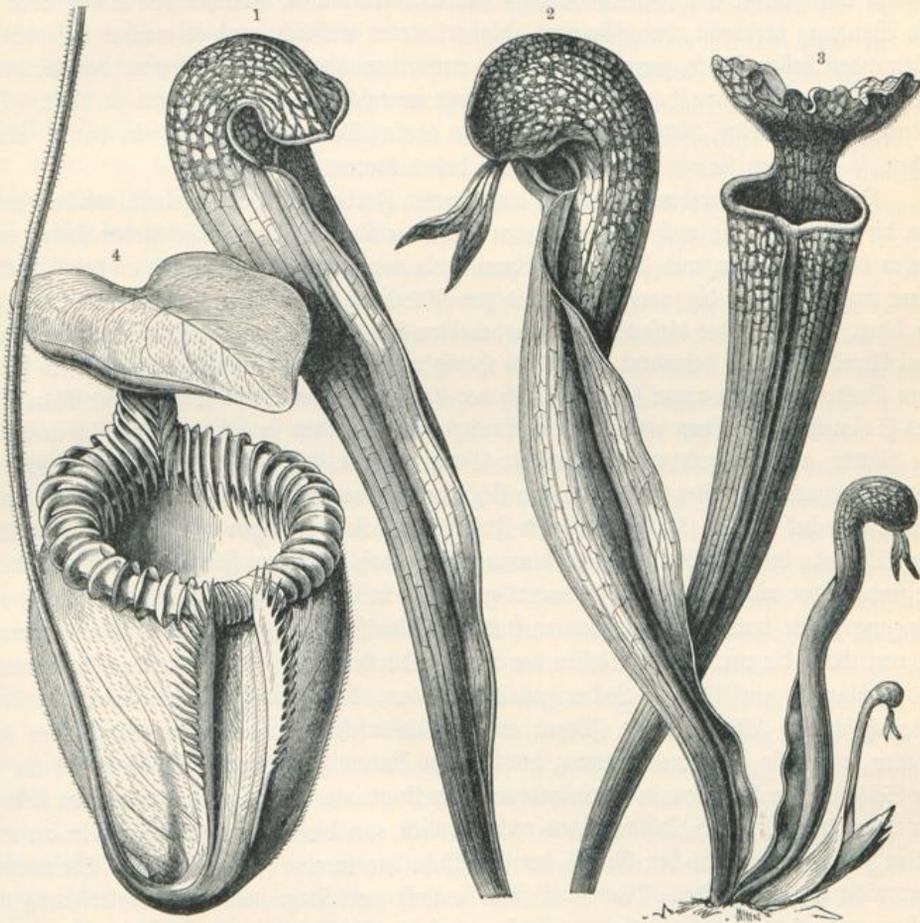
Für die Tierfänger aus der Gruppe der Schlauchpflanzen können als Vorbilder die an der Grenze von Britisch-Guayana in den Gebirgen von Koraima auf moorigen Gründen heimische *Heliamphora nutans* und die in Sümpfen des östlichen Nordamerika von der Hudsonbai herab bis Florida weitverbreitete *Sarracenia purpurea* (s. obenstehende Abbildung) gelten. Bei beiden sind die in Schläuche umgewandelten Blätter rosettig gestellt, liegen mit ihrer Basis der feuchten Erde auf, krümmen sich von da bogenförmig empor, sind ungefähr in der Mitte etwas blasig aufgetrieben, an der Mündung dagegen wieder verengert und gehen dort in ein mehr blattartiges Anhängsel über. Dies ist von roten Striemen wie von Blutadern durchzogen, hat eine muschelförmige Gestalt und wendet seine konkave Seite dem einfallenden Regen zu. Es dient auch, wenigstens bei *Sarracenia purpurea*, zum Auffangen der Regentropfen, die in den Grund des Schlauches hinabfließen und diesen mehr oder weniger hoch mit Wasser füllen. Aus den bogig gekrümmten Schläuchen verdunstet das Wasser nur

sehr langsam. Selbst dann, wenn es eine Woche lang nicht geregnet hat, findet man in der Tiefe von früher her noch immer etwas Wasser angesammelt. Früher wurden die Schlauchblätter für hohle Blattstiele gehalten, und man sah das blattartige Anhängel als verkümmerte Blattfläche an. Die Entwicklungsgeschichte zeigt aber, daß die ganze Blattanlage zur Bildung des Schlauches verwendet wird. Die Schläuche von *Darlingtonia* und *Cephalotus* haben eine ähnliche Entstehung. Die Innenwand des Schlauches ist bei *Heliamphora* mit gekrümmten stachelartigen Gebilden (s. Abbild., S. 308, Fig. 1), bei *Sarracenia purpurea* mit dreierlei Zellen besetzt, von denen eine Form an die Schmelzschuppen auf dem Rücken eines Hechtes erinnert (Fig. 2). Die gegen den Hohlraum vorspringende Wand jeder dieser Zellen gestaltet sich zu einer starren, nach abwärts gerichteten Spitze, und je weiter nach abwärts, desto länger werden diese Spitzen. Die muschelförmige Blattspitze über der verengerten Mündung des Schlauches dagegen trägt bei *Sarracenia purpurea* Drüsenhaare, welche Honig ausscheiden, so daß die Umgebung der Schlauchmündung mit einer dünnen Schicht des süßen Saftes überzogen ist.

Durch diesen Honig werden nun zahlreiche kleine Tiere angelockt, teils geflügelte, welche angefliegen kommen, teils ungeflügelte, die eine eigentümliche, an der konkaven Seite des Schlauches vorspringende Leiste zum Emporkriechen benutzen. Gelangen diese Näscher des Honigs von der kleinen Auffangfläche weg in die Region der schlauchförmigen Rinne, welche mit den nach abwärts gerichteten glatten und schlüpfrigen Zellen tapeziert ist (s. Abbildung, S. 308, Fig. 2), was sehr leicht geschieht, so sind sie auch so gut wie verloren. Sie gleiten über diese Zellen nach abwärts; jeder Versuch, wieder in die Höhe zu kommen, wird durch die tiefer unten die Wand bekleidenden, abwärtsstarrenden nadelförmigen Spitzen (s. Abbildung, S. 308, Fig. 4) vereitelt, und schließlich fallen sie in die mit Wasser gefüllte Tiefe, wo sie ertrinken und verweseln. Die Produkte der Verwesung aber werden von den Oberhautzellen im Grunde des Schlauches als Nahrung aufgefogen. Manchmal ist die Menge derartig verunglückter Tiere so groß, daß sich von den zerfallenen Leichen ein widerlicher Geruch entwickelt, der den Schläuchen entsteigt und sich auf ziemliche Entfernung bemerkbar macht. Im Freien sollen die kannenförmigen Schläuche oft bis zur Mitte mit ersäuftem Tieren erfüllt sein, und es wird erzählt, daß sich dann auch Vögel einstellen, welche einen Teil der toten Tiere aus den Schläuchen herauspicken.

Ob die Flüssigkeit im Grunde der Schläuche nur aus Regenwasser besteht, oder ob dieses Regenwasser nicht doch vielleicht durch eine aus den drüsenartig gruppierten Zellen (s. Abbildung, S. 327, Fig. 7) herstammende Ausscheidung des *Sarracenia*-Blattes verändert wird, ist noch zweifelhaft. Mit Sicherheit sind verdauende Enzyme bei den Sarrazenien nicht nachzuweisen. Folgende Beobachtung scheint für eine Entstehung der letzteren zu sprechen. Ein über 4 cm langer Tausendfuß, der im Laufe der Nacht in einen der Schläuche der *Sarracenia purpurea* fiel, war nur zur Hälfte unter das Wasser gekommen, die obere Hälfte des Tieres ragte über die im Schlauchgrunde angesammelte Flüssigkeit empor und machte lebhafteste Versuche, zu entkommen; der untere Teil aber war nach wenigen Stunden nicht nur bewegungslos geworden, sondern erhielt infolge des Einflusses der umgebenden Flüssigkeit auch eine weiße Farbe, war wie mazeriert und zeigte Veränderungen, wie sie an Tausendfüßern nicht beobachtet werden, die in gewöhnliches Regenwasser oder auch in solches, in dem sich Spaltpilze eingestellt haben, gelangen. Sind einmal mehrere in die Falle gegangene Tiere in Zersetzung übergegangen, dann färbt sich dort die Flüssigkeit braun und bekommt ganz das Ansehen einer Jauche.

Sehr auffallend weicht von den Schläuchen der *Sarracenia purpurea* die Fangvorrichtung jener Pflanzen ab, für die als Beispiele die in den Sümpfen von Alabama, Florida und Carolina heimische *Sarracenia variolaris* und die in der Seehöhe von 300—1000 m im nördlichsten Kalifornien von der Grenze Oregons bis zum Mount Shasta an moorigen Stellen wachsende *Darlingtonia Californica* aufgeführt werden mögen. Bei beiden ist die



Schlauch- und Kannenpflanzen: 1 *Sarracenia variolaris*; 2 *Darlingtonia Californica*; 3 *Sarracenia laciniata*; 4 *Nepenthes villosa*, um die Hälfte verkleinert. (Zu S. 311—314 und 318.)

sauer reagierende Flüssigkeit, welche den Grund der Schläuche erfüllt, bestimmt nur von den Zellen im Inneren der Höhlung selbst ausgeschieden, und es ist ganz unmöglich, daß auch nur ein Tropfen des auf die Pflanze niederfallenden Regens oder Taues in das Innere der Höhlung gelange. Auch hier wird das Blatt schlauch- oder röhrenförmig und nach oben zu nur wenig erweitert. Am oberen Ende der Röhre ist aber die Rückseite jedes Blattes kappen- oder helmartig ausgehöhlt und bildet ein kuppelförmiges Gewölbe, wie es an obensiehender Abbildung, Fig. 1 und 2, zu sehen ist. Die Mündung des Schlauches oder der Eingang in ihn ist infolgedessen versteckt und stellt einen Schlitz oder ein

Loch unter dem kuppelförmigen Gewölbe dar. Das Schlauchanhängsel ist bei *Sarracenia variolaris* zu einem kleinen, die Schlauchmündung überdachenden, bei *Darlingtonia* zu einem fischschwanzartigen, vor der Schlauchmündung herabhängenden Lappen umgewandelt (s. Abbildung, S. 311, Fig. 1 und 2). Während der untere Teil einfarbig grün ist, erscheint der obere Teil des Schlauches, namentlich die Kuppel und das lappenförmige Anhängsel, rot gerippt und geädert und stellenweise ganz purpurn überlaufen; zwischen den Adern aber ist die Wandung verdünnt, durchscheinend, blaßgrün oder weißlich, und es machen diese durchscheinenden hellen Flecke, umrahmt von den purpurnen oder grünen Rippen, den Eindruck kleiner Fensterchen, zumal dann, wenn man von innen her gegen die Kuppel zu blickt. Die Mischung von Grün, Rot und Weiß gibt den oberen Teilen der Blätter ein buntes Aussehen, so daß man sie von fern für Blumen halten könnte.

Ohne Zweifel werden auch durch diese bunten Farben Insekten angelockt, welche sowohl um die Mündung als auch an der inneren Seite der Kuppel Honig abgetrennt finden und diesen begierig saugen und lecken. Bei *Sarracenia variolaris* ist zudem auch an der Schneide einer breiten Leiste, die vom Boden bis zur Mündung am Schlauche hinaufzieht, Honig zu sehen, und es bildet diese Leiste einen beliebten Pfad für die ungeschlügelten Insekten, zumal Ameisen, welche besonders eifrig dem Honig nachgehen. Freilich ist es für sie ein Pfad zum Verderben, denn wenn sie, allmählich der honigbesäumten Leiste folgend, zur Mündung des Schlauches gekommen und dort eingedrungen sind, geraten sie fast unvermeidlich auch auf die glatten, abwärts gefehrten Spitzen der Oberhautzellen, die ganz ähnlich wie bei *Sarracenia purpurea* gestaltet sind, vermögen sich hier nicht zu halten und gleitsen in die Tiefe des Schlauches hinab. Kleine geflügelte Insekten, welche angefliegen waren und im Inneren der Schläuche ins Rutschen kommen, benutzen dann wohl auch ihre Flügel, um sich zu retten; sie finden aber niemals die schief abwärts gerichtete, in Schatten gestellte Öffnung, die sie als Eingangspforte benutzt hatten, sondern suchen regelmäßig durch die Kuppel zu entkommen, da von ihnen die verdünnten Stellen der Kuppel, durch welche das Licht in den Innenraum des Schlauches einfällt, für Löcher gehalten werden, durch die ihnen ein Entrinnen noch möglich scheint. Wie aber die Fliegen an die Glastafeln der Fenster in den Stuben anprallen, wenn sie dort einen Ausweg ins Freie zu finden hoffen, ganz ähnlich stoßen die in die Schläuche der *Sarracenia variolaris* und *Darlingtonia Californica* gekommenen kleinen Insekten, die sich durch Davonfliegen retten wollen, an diese gefensterter Kuppeln an und fallen immer wieder in den Grund der Schläuche wie in eine Zisterne hinab. Sie werden dort nicht sogleich getötet. Manchmal sind sie noch zwei Tage nach ihrer Einkerkung am Leben, und es wäre daher irrig, zu glauben, daß die Flüssigkeit in der Tiefe der Kanne auf die in die Falle gegangenen Tiere sofort als tödliches Gift einwirkt. Sie verhungern, ertrinken und ersticken in derselben, und ihre Leichen zerfallen dann unter dem Einflusse von Spaltpilzen, die sich in der Flüssigkeit eingestellt haben. Es entsteht auf diese Weise, wie bei den früher besprochenen Schlauchpflanzen, eine braune Jauche von sehr unangenehmem Geruch und ein Absatz aus festen, schwer zersetzbaren Skeletteilen, Flügeldecken, Klauen und Brustschildern der Käfer, Wanzen, Fliegen, Ameisen und anderen verunglückten Insekten.

Die Menge der gefangenen Tiere ist sehr bedeutend; in den schlauchförmigen Kannen der an ihren natürlichen Standorten gewachsenen *Sarracenia variolaris*, welche eine Länge von 30 cm erreichen, findet man die tierischen Reste gewöhnlich 8—10 cm hoch aufgeschichtet, ja selbst Schichten von Leichnamen in der Höhe von 15 cm wurden in ihnen beobachtet.

Ähnliches gilt von *Darlingtonia*, deren bis zu 60 cm hohe Schläuche am Schlusse einer Vegetationsperiode 8—10 cm hohe Lager von Insektenresten bergen.

Dabei ist zu bemerken, daß sich in den Schläuchen der *Sarracenia variolaris* vorwiegend flügellose, auf der Erde kriechende, im Grunde der Fanggruben der *Darlingtonia* dagegen meistens geflügelte Insekten finden. Der Grund hiervon ist leicht einzusehen. Die erstgenannte Pflanze scheidet an der Leiste, welche von der Mündung des Schlauches bis zum Boden herabzieht, Honig ab, und es werden dadurch viele flügellose Insekten veranlaßt, entlang diesem verlockenden Pfad emporzukletternd und den Innenraum des Schlauches zu betreten; der *Darlingtonia* dagegen fehlt der Honig an diesen herablaufenden Leisten, sie bietet die süße Speise nur oben in der Umgebung der Mündung des Schlauches für fliegende, in der Regel nur honigreiche Blüten besuchende Insekten aus, und die purpurrot gefärbte, fischschwanzartige Schuppe, die wie ein Wirtshauschild vor dem Eingang in das Innere des Schlauches herabhängt, bildet gerade für die mit lebhaftem Farbensinn begabten fliegenden Tiere ein weithin sichtbares Anlockungsmittel, das auch seine Wirkung nicht verfehlt.

Welche Bedeutung der schraubenförmigen Drehung der *Darlingtonia*-Blätter (s. Abbildung, S. 311, Fig. 2) zukommt, ist schwer zu sagen. Vielleicht wird dadurch die Flucht der einmal in die Tiefe der Fallgruben geratenen Tiere noch erschwert. Bei einem Versuche, durch Benutzung der Flügel aus dem Grunde des Schlauches zu entkommen, wird ein an der Innenwand mit abwärts gerichteten Spitzen bekleideter und dabei schraubig gedrehter Kanal jedenfalls weit schwieriger zu passieren sein als ein solcher, der gerade aufsteigt und sich nach oben zu erweitert. Es darf nicht unerwähnt bleiben, daß sich einige Fliegen sowie auch eine kleine Motte die Schläuche der eben erwähnten beiden Gewächse, die doch für die meisten Insekten so verhängnisvoll werden, zum gewöhnlichen Wohnplatz ausgewählt haben. Insbesondere ist es eine Schmeißfliege (*Sarcophaga Sarraceniae*), deren Maden oft massenhaft in den aufgeschichteten verwesenden Insektenleichen im Grunde der Schläuche leben und sich dort ernähren, ähnlich wie die Maden ihrer Verwandten im faulen Fleische der Vögel und Säugetiere. Die Maden verlassen dann, wenn sie ausgewachsen sind, durch Löcher, die sie sich in die Seitenwand der Schläuche bohren, das Leichensfeld und verpuppen sich in der Erde. Die Fliege selbst aber kommt ungefährdet durch die für andere Insekten so gefährlichen Fallgruben aus und ein, und ist hierzu durch eine ganz besondere Vorrichtung an ihren Füßen befähigt. Sie besitzt nämlich so lange Klauen und so lange, sohlenartige Haftlappen am letzten Fußgliede, daß sie damit zwischen den schlüpfrigen, spitzen, abwärts gerichteten Haaren an der Innenwand des Schlauches durchstoßen und sich in die tieferen Schichten der Wand einhaken kann. Mit dieser Vorrichtung, die man mit den Steigeisen eines Bergsteigers vergleichen könnte, ist sie imstande, über die für andere Insekten unersteigliche Innenwand des Schlauches emporzukommen. Ähnlich verhält es sich auch mit der kleinen Motte *Xanthoptera semicrocea*. Diese hat an den Schienbeinen der beiden mittleren Extremitäten je ein Paar, an denen der beiden hinteren Extremitäten je zwei Paar lange, spitze Sporen, und mit deren Hilfe vermag sie gleichfalls die gefährlichen Stellen der Wand ohne Nachteil zu überschreiten. Ihre Raupen aber überkleiden die spitzen, glatten Haare mit einem Gespinste, wodurch diese gleichfalls unschädlich gemacht werden.

Das Vorkommen dieser Tiere in den Fallgruben der Sarrazenien ist insofern von besonderem Interesse, als es zeigt, daß die im Grunde der Schläuche umgekommenen Tiere nicht eigentlich verdaut werden. Wenn madiges Fleisch in den Magen eines Fleischfressers

kommt, so wird nicht nur das Fleisch selbst, sondern es werden auch die Maden (die ja, in den Magen gelangt, sofort absterben) durch den Einfluß des Magenjaftes rasch gelöst. Ähnlich verhält es sich wohl bei mehreren später zu besprechenden Tierfängern. Der Flüssigkeit, welche in den Schläuchen von *Darlingtonia* und *Sarracenia* ausgeschieden wird, kann aber diese verdauende Wirkung nicht zukommen, denn sonst würden sich die Maden in der aufgeschichteten Masse aus faulenden Insekten nicht lebend erhalten und ernähren können; ihre Wirkung beschränkt sich daher auf die Einleitung des Verwesungsprozesses in den Leichen, welcher durch die sich einstellenden Spaltpilze noch beschleunigt wird. Es bildet sich aus den zerfallenden Leichen eine Jauche oder mit anderen Worten ein flüssiger Dünger, der von den Oberhautzellen im Grunde der Schläuche als Nahrung aufgefogen wird.

Eine weitere Reihe der Schlauch- und Kannenpflanzen begreift Formen mit Blättern von der Form symmetrischer Ausfackungen, deren Mündung nach oben gekehrt ist, und über welche sich die Blattspreite wie ein Deckel ausbreitet. Am häufigsten zeigen die Fallgruben bei den hierher gehörenden Pflanzen die Gestalt von Kannen, Krügen, Urnen, Kelchen und Trichtern, und der Deckel ist meistens so geformt und so über die Mündung der Hohlräume gestellt, daßer zwar das Einfallen von Regentropfen, aber durchaus nicht das Eindringen von Tieren verhindert. Es stellen sich in diese Reihe zunächst wieder einige Sarrazenien, namentlich *Sarracenia Drummondii* und *S. undulata*, sowie der australische *Cephalotus follicularis*.

Die Blätter der beiden eben genannten Sarrazenien sind ungleich; ein Teil von ihnen zeigt einfarbig grüne, länglich-lanzettliche, zugespitzte, nicht ausgehöhlte Stiele, und nur an 3—5 Blättern eines jeden Stockes sieht man die Stiele hohl, schlauchförmig und nach oben zu in eine trichterförmig erweiterte Röhre umgewandelt. Der Saum der Trichteröffnung ist etwas gewulstet und nach außen umgebogen; über die Mündung aber wölbt sich wie ein Kannendeckel die Blattspreite, welche bei dem S. 311, Fig. 3, abgebildeten Blatte der *Sarracenia laciniata* am Rande wellig hin und her gebogen und gefaltet ist. Dieser Deckel sowohl als auch der obere trichterförmig erweiterte Teil der Ranne sind durch Farbenkontraste sehr auffallend. Das Grün des unteren Kannenteiles verblaßt oben mehr und mehr, geht sogar in helles Weiß über, und von dem grünweißen Grundtone heben sich dunkelrote Adern ab, die sich fast wie ein Blutgefäßnetz ausnehmen. An der Mündung der Ranne und an der unteren Seite des Deckels wird Honig ausgeschieden, und zwar so reichlich, daß an dem gewulsteten Rande nicht selten kleine Tropfen desselben zu sehen sind, wie auch in den trichterförmigen Teil der Ranne etwas von diesem Honig hinabsickert. Aber gerade dort, wo der Honig trieft, finden sich auch unzählige kegelförmige, glatte Zellen, die mit ihrer festen Spitze nach abwärts gerichtet sind und sich gegen die Tiefe der Ranne zu bedeutend verlängern. Insekten, welche durch den buntfarbigen Deckel aufmerksam gemacht und durch den Honig angelockt, zur Mündung des Trichters kommen und die mit spitzen, schlüpfrigen Papillen besetzten Teile der Rannen betreten, werden wie von einer unsichtbaren Macht in die Tiefe gezogen. Einmal auf die gefährliche Stelle geraten, rutschen sie bei jeder Bewegung und bei jedem Versuche, gegen die Richtung der Spitzen emporzuklimmen, immer weiter nach abwärts in den Grund der Rannen, wo sie dann in kurzer Zeit verenden und in Verwesung übergehen.

Ganz ähnlich verhält es sich mit dem schon seit langer Zeit bekannten, auf Moorboden im östlichen Australien heimischen *Cephalotus follicularis*, einer mit den Steinbrechen und Johannisbeeren verwandten Pflanze, welche in halber Größe nebenstehend abgebildet ist. Auch

dieser *Cephalotus* hat zweierlei Blätter, welche dicht gedrängt in einer Rosette um den aufrechten, blüthentragenden Stengel herumstehen. Nur die unteren Blätter dieser Rosette sind in Tierfallen umgewandelt, und zwar sind diese vorzüglich für flügellose, auf dem Boden kriechende Tiere berechnet. Die krugförmigen Fallen ruhen sämtlich auf dem feuchten Boden und sind außen mit leistenförmigen Vorsprüngen versehen, welche den kriechenden Tieren den Zugang zur Krugmündung erleichtern. Fliegende Insekten sind natürlich nicht ausgeschlossen; diese werden durch bunte, weithin sichtbare Farben darauf aufmerksam gemacht, daß hier Honig aufgetischt ist. Der halb aufgeschlagene Deckel, mit weißen Flecken und purpurnen, glänzenden Adern zierlich bemalt, kann aus einiger Entfernung für eine Blüte gehalten werden.

Sowohl flügellose als geflügelte kleine Tiere, welche angerückt kommen, um sich den Honig zu holen, geraten im Eifer des Honigsuchens und Honigsaugens auf die innere Seite der geriefen, dabei aber sehr glatten und schlüpfrigen Mündung des Kruges und gleiten leicht in die Tiefe hinab. Da die Krüge bis zur Hälfte mit Flüssigkeit erfüllt sind, so erleiden dort die meisten verunglückten Tiere in Kürze den Tod durch Ertrinken. Aber auch dann, wenn dies nicht der Fall sein sollte, gelingt es ihnen nimmermehr, sich zum Tageslicht emporzuarbeiten. Es sind nämlich für jedes Tier, welches aus dem Grund eines *Cephalotus*-Krugens sich retten will, drei Wehren zu überwinden: zunächst eine in das Innere des Kruges vorspringende Ringleiste, dann ein Stück Wand, das mit abwärts gerichteten starren und spizen, kleinen Papillen ganz dicht besetzt und einer Scheitel mit abwärts gerichteten Spizen zu vergleichen ist, und endlich noch an dem einwärts gerollten Mundrande des Kruges ein Besatz von hakenförmig hinabgekrümmten Stacheln, der denjenigen Tieren, welche die anderen Schwierigkeiten überwunden haben sollten, wie eine nicht zu durchdringende Bajonettreihe entgegenstarzt. Die reiche Beute, welche man im Grunde der *Cephalotus*-Krüge findet, zeigt, wie trefflich diese Vorrichtungen gegen das Entkommen wirksam sind. Namentlich sind es Ameisen, welche als Opfer der Haft, mit der sie dem Honig nachgehen, zu Falle kommen, und von denen man oft große Mengen ertränkt in der Flüssigkeit im Grunde der Krüge findet.



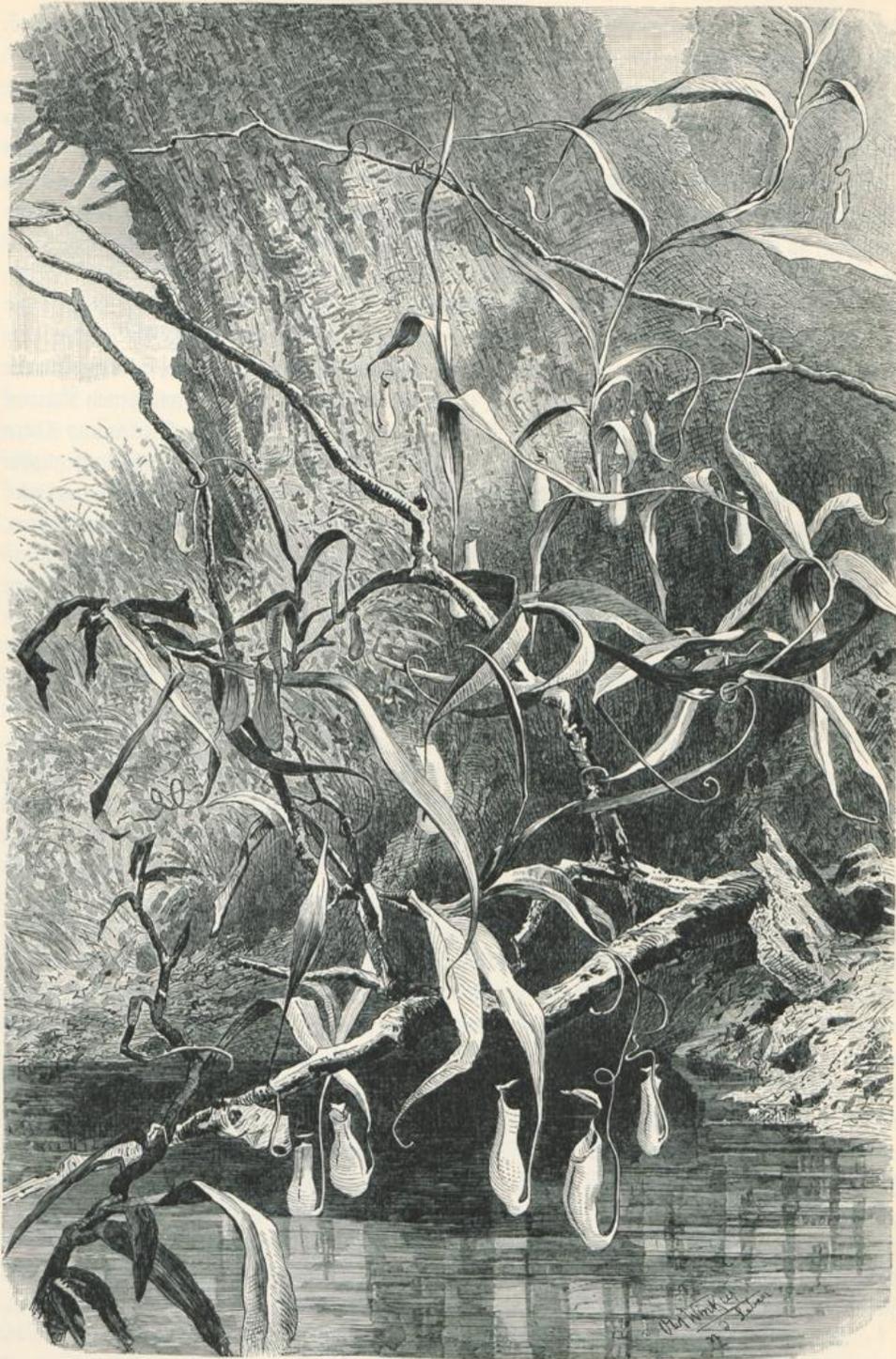
Cephalotus follicularis.

Die Kannenpflanzen (Nepenthes).

Die Arten der Gattung *Nepenthes*, von denen bis jetzt ungefähr 40 bekannt wurden, schließen sich in der Form ihrer Fangorgane den eben besprochenen an, besitzen aber Digestionsdrüsen, welche ein Verdauungsenzym absondern. Sie sind auf die Tropen beschränkt, und ihr Verbreitungsbezirk erstreckt sich von Neukaledonien und Neuguinea über das tropische Australien bis zu den Seychellen und nach Madagaskar, dann über die Sunda-Inseln, die Philippinen, Ceylon, Bengalen und Cochinchina. Sie gedeihen in den feuchten Urwäldern, an buschigen Abhängen und auf sumpfigem Boden am Rande kleiner Wasseransammlungen.

Die Fangapparate der *Nepenthes*-Arten (s. Abbildung, S. 317) sind sehr merkwürdige Gebilde. Der untere Teil ihres Stieles ist geflügelt, flächenförmig ausgebreitet, im Umrisse lineal oder lanzettlich und funktioniert auch ganz so wie eine grüne Blattspreite. Das darauf folgende Stück des Blattstieles dagegen, in das der untere flächenförmig ausgebreitete Teil übergeht, ist stielrund, bei manchen Arten schlangenförmig gewunden und übernimmt dann die Rolle einer Ranke. Diese letzteren Arten verhalten sich wie andere rankende Pflanzen. Zweige und Stengel lebender und abgestorbener Gewächse, mit denen der stielrunde Teil des Blattstieles in Berührung kommt, werden häufig von ihm erfaßt und mit Schlingen umwunden, und da sich am Ende dieses rankenförmigen Teiles das dritte Glied des Blattes, die Kanne, befindet, so wird diese tatsächlich mittels der Schlingen an den Ästen der stützenden, am Rande der Wassertümpel wachsenden anderen Gewächse aufgehängt. Zugleich aber kommt die *Nepenthes*-Pflanze auf diese Weise immer höher und höher über das Erdreich, in dem der Same gekeimt und in dem die junge Rosette gestanden hatte, empor, verstrickt sich mit dem Gezweige des niederen Strauchwerkes, z. B. auf Ceylon mit den Gleichienien oder mit den geborstenen und abgefallenen Baumästen der Urwaldwildnis, kurz mit allem, was ihr zur Stütze dienen kann, und klettert nicht selten bis in die Kronen niederer Bäume hinauf.

Die Kanne erscheint als ein Anhängsel, welches durch die Ranke an der grünen Blattspreite hängt, und wenn man das ganze Gebilde als metamorphosiertes Blatt ansieht, so ist es schwer zu erkennen, aus welchen Teilen des Blattes die einzelnen Glieder des ganzen Apparates entstanden sind. Man glaubte lange, die grüne Fläche, an der die kannentragende Ranke sitzt, sei der verbreiterte Blattstiel des ursprünglich entstandenen Blattes, die Kanne oder der Deckel allein sei veränderte Blattspreite. Die Verfolgung der Entwicklung der *Nepenthes*-Kanne hat aber ergeben, daß ein Blattstiel gar nicht angelegt wird. Vielmehr entsteht der Kannenapparat in folgender Weise. Die *Nepenthes*-Samen keimen auf feuchter Erde, und die jungen Pflänzchen (s. Abbildung, S. 319), die dem Boden entwachsen, erzeugen zuerst zwei flache Keimblätter und dann eine Rosette von schlauchförmigen Blättern, ganz ähnlich denen der *Sarrazenien*. Junge *Nepenthes*-Pflanzen wird der Laie für junge *Sarrazenien* halten. Die Schlauchblätter liegen mit ihrem unteren Teil dem Boden auf, der obere Teil ist aufgebogen und trägt an seinem Ende eine hahnenkammartige Schuppe, die eine schüsselförmige Öffnung des Schlauches überwölbt. Die Schlauchblätter ändern nun ihre Gestalt, indem die kurze Strecke zwischen dem Schlauch und der Anhaftungsstelle, der Blattgrund, zu der oben beschriebenen grünen blattähnlichen Fläche auswächst. Das dünnere Verbindungsstück zwischen Schlauch und Fläche wächst allmählich zu einer langen Ranke heran, der Schlauch bildet sich zur Kanne aus. So erkennt man aus dieser Entwicklung, daß der ganze Kannenapparat ein umgewandeltes stielloses Blatt ist, das sich erst nach und nach in seine drei



Nepenthes distillatoria.

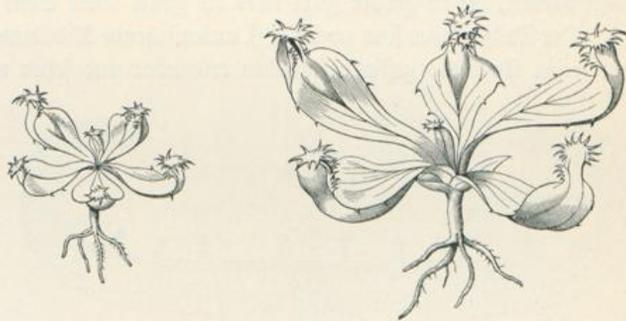
Teile gliedert. Es entsteht also die Kanne mit ihrem Deckel aus dem Teil der Blattanlage, der sich bei anderen Pflanzen zur Blattspitze entwickelt.

Die vollständig ausgewachsenen Kannen haben bei der Mehrzahl der *Nepenthes*-Arten eine Höhe von 10—15 cm; an der zierlichen *Nepenthes ampullaria* sind sie nur 4—6 cm hoch, bei den in den Urwäldern Borneos heimischen Arten erreichen sie dagegen die Höhe von 30 cm, ja selbst von 50 cm. *Nepenthes Rajah* besitzt Kannen, die bei einer Höhe von 50 cm eine Mündung von 10 cm Durchmesser zeigen und sich unterhalb dieser Mündung bis zu 16 cm erweitern, so daß eine Taube, welche in eine solche Kanne einfliegen würde, vollständig darin geborgen wäre. Die nicht ganz ausgewachsenen Kannen sind noch durch den Deckel geschlossen; sie sind an der Außenseite häufig dicht behaart und je nach der Farbe und dem Glanze der Haare bald rostfarbig, bald goldig schimmernd; manchmal wie mit Mehl bestäubt oder, wie z. B. an *N. albo-marginata*, auch schneeweiß. Später hebt sich der Deckel von der Kanne empor, der flaumhaarige Überzug schwindet teilweise oder ganz, die kahl gewordenen Kannen zeigen nun eine gelblichgrüne Grundfarbe, sind aber meistens mit purpurnen Flecken und Adern bemalt, manche sind gegen die Mündung zu bläulich, violett oder rosenrot überlaufen oder ganz dunkelrot, wie mit Blut getränkt. Auch der Deckel ist in ähnlicher Weise bunt gefärbt, und die Mannigfaltigkeit der Farben wird noch dadurch vermehrt, daß unter dem gewulsteten, einwärts gerollten, bräunlichen, gelblichen oder orangeroten Mundrand im Inneren eine blaßbläuliche Zone sichtbar wird. Solche bunte Kannen nehmen sich aus der Ferne fast wie Blüten aus und erinnern bisweilen lebhaft an die Blütenformen der in den tropischen Wäldern heimischen, lianenartigen *Aristolochien*.

Von Insekten, und wahrscheinlich auch von anderen fliegenden Tieren, werden die weit hin sichtbaren Kannen der *Nepenthes* ganz ähnlich wie Blumen aufgesucht, und zwar um so mehr, als von den Zellen der Oberhaut an der unteren Seite des Deckels sowie am Mundrande der Kannen Honig ausgeschieden wird. Besonders der gewulstete und häufig auch zierlich geriefte Mundrand trieft und glänzt von dem Zuckersaft, und man könnte hier in des Wortes vollster Bedeutung von einem Honigmund und von süßen Lippen sprechen. Die Tiere, welche den Honigseim von den Lippen der *Nepenthes*-Kannen saugen, geraten dabei nur zu leicht an deren Innenseite. Diese aber ist abschüssig und glatt und durch Wachsüberzug so schlüpfrig gemacht, daß nicht wenige der angeflogenen Gäste in den Grund der Kanne hinabgleiten und in die dort angesammelte Flüssigkeit fallen. Manche verenden hier schon nach kurzer Zeit, andere suchen sich aus der Fallgrube zu retten und an der Innenwand der Kanne emporzuklettern: an der mit Wachs überzogenen, geglätteten Zone gleiten sie aber immer wieder ab und stürzen von neuem in die Tiefe zurück. An den großen Kannen ist der einwärts gerollte Mundrand auch mit spitzen Zähnen besetzt, welche nach abwärts gerichtet sind und den unglücklichen, in die Fallgrube geratenen Opfern, die noch zu entkommen suchen, entgegenstarren (s. Abbildung, S. 308, Fig. 3). Bei manchen Arten, namentlich bei den auf Borneo heimischen *Nepenthes Rafflesiana*, *N. echinostoma*, *N. Rajah*, *N. Edwardsiana* und *N. Veitchii*, sieht dieser Besatz aus spitzen Zähnen dem Gebiß eines Raubtieres ähnlich, und an *Nepenthes villosa*, von der eine Kanne auf S. 311, Fig. 4, abgebildet ist, erscheint sogar eine doppelte Reihe größerer und kleinerer, gegen den Grund der Kanne gerichteter spitzer Zähne, die ein Entfliehen der in die Falle geratenen Tiere unmöglich machen.

Bei der reichlichen Menge von Flüssigkeit in den Kannen werden übrigens ohnedies die meisten in deren Grund gefallenen Tiere rasch ersäuft. Die Kannen sind nämlich im unteren

Drittel, ja häufig bis zur Hälfte mit Flüssigkeit erfüllt. Es stammt diese Flüssigkeit zum Teil aus eigenen Drüsenzellen der Innenwand der Ranne her, besteht hauptsächlich aus Wasser und zeigt, solange noch keine Tiere in der Fallgrube sind, eine neutrale Reaktion. Sobald aber ein tierischer Körper in den Grund der Ranne gelangt, wird sogleich noch mehr Flüssigkeit ausgeschieden. Diese reagiert dann deutlich sauer, besitzt die Fähigkeit, Eiweißstoffe, Fleisch und geronnenes Blut aufzulösen, und hat nicht nur in betreff dieser Wirkungsweise, sondern auch mit Rücksicht auf ihre chemische Zusammensetzung die größte Übereinstimmung mit dem Magensaft. Man hat nämlich ein pepsinartiges Ferment in ihr nachgewiesen, und es ist gelungen, mit ihr auch künstlich Eiweißstoffe in Lösung zu bringen. Gießt man in ein Glasgefäß, in dem sich in ganz verdünnter Salzsäure (2 ccm auf 1000 ccm Wasser) gequollenes Blutfibrin befindet, die Flüssigkeit aus einer *Nepenthes*-Ranne, in der sich noch kein Tier gefangen hatte, so wird das gallertige Fibrin bei 40° C augenblicklich in eine wasserdünnere Peptonlösung umgewandelt und erfährt ganz dieselben Veränderungen wie im Magen eines Säugetieres. Der Vorgang, der sich in den *Nepenthes*-Rannen abspielt, wenn tierische Körper in sie gelangen, kann daher nicht nur mit der Verdauung verglichen, sondern er darf geradezu als Verdauung bezeichnet werden. Die verdauten Teile der tierischen Körper werden dann von eigenen Zellen am Boden und am unteren Teile der Seitenwand der *Nepenthes*-Rannen als Nahrung aufgesogen.

Junge *Nepenthes*-Pflanzen. (Zu S. 316.)

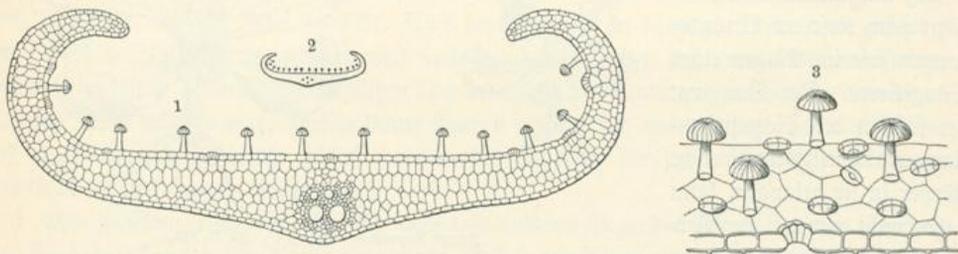
Tierfänger, welche beim Fange Bewegungen ausführen.

Die erste Gruppe der Tierfänger, die beim Fange Bewegungen ausführen, wird durch die Arten der zu den Lentibulariaceen gehörenden Gattung Fettkraut (*Pinguicula*) gebildet. Man kennt ungefähr 40 Arten, die sich alle ungemein ähnlich sehen. Der Laie würde *Pinguicula calyptrata* aus den Hochgebirgen Kolumbiens und *Pinguicula vulgaris* aus dem Harze kaum voneinander unterscheiden. Auch in betreff des Standortes zeigen sie große Übereinstimmung. In der Alten wie in der Neuen Welt gedeihen sie nur an feuchten Orten, an quelligen Stellen, am Ufer der Bäche, auf Moorgründen und schwarzem Torfboden. In der äquatorialen Zone haben sie sich in die kühlen Regionen der höheren Gebirge zurückgezogen. Besonders reich an *Pinguicula*-Arten sind die Hochgebirge Mexikos, doch sind alle dort vorkommenden Formen auf ein sehr enges Gebiet beschränkt, ebenso wie einige endemische Arten, die das südliche und westliche Europa beherbergt. Die Arten der arktischen und subarktischen Zone sind dagegen ungemein weit verbreitet. Eine Art ist auch im antarktischen Gebiet an der Magalhaesstraße gefunden worden.

Die bekannteste, am weitesten verbreitete und zu Versuchen am häufigsten verwendete

Art ist *Pinguicula vulgaris*. Das zierliche Pflänzchen, welches auf der beigehefteten Tafel „Tierfangende Pflanzen: Sonnentau und Fettkraut“, auf einem Torfmoore wachsend, in natürlicher Größe abgebildet ist, hat veilchenblaue, zweilippige Blüten, die am Gaumen mit weißen Samthaaren besetzt sind und nach rückwärts in einen spizen Sporn auslaufen. Die Blüten werden einzeln von schlanken Stielen getragen, welche aus der Mitte einer grundständigen Blattrosette in schönem Schwung aufragen. Die Blätter der Rosette sind länglich-elliptisch oder zungenförmig, von blasser, gelblichgrüner Farbe, liegen mit der unteren Seite dem feuchten Boden auf und kehren die Oberseite dem Himmel und dem einfallenden Regen zu. Dadurch, daß die seitlichen Ränder etwas aufgebogen sind, wird jedes Blatt zu einer breiten Rinne mit flachem Boden (vgl. die Blattdurchschnitte in der untenstehenden Abbildung, Fig. 1 und 2). Die Rinne ist mit farblosem, klebrigem Schleim bedeckt, und dieser Schleim wird von Drüsen ausgeschieden, die in großer Zahl über die ganze obere Seite des Blattes verteilt sind.

Der Drüsen aber sind zweierlei (s. untenstehende Abbildung, Fig. 3). Die einen sind schon dem freien Auge als gestielte Köpfschen erkennbar und sehen unter dem Mikroskop wie kleine



Fangvorrichtung des Fettkrautes: 1 Querschnitt durch ein Fettkrautblatt (*Pinguicula alpina*), 50fach vergrößert, 2 dasselbe, natürliche Größe; 3 Stück der Oberhaut eines Fettkrautblattes, 180fach vergrößert.

Gutpilze aus. Sie bestehen aus einer, von 8—16 strahlenförmig gruppierten Zellen zusammengesetzten Scheibe und dem diese Scheibe tragenden, aus einer aufrechten schlauchförmigen Zelle gebildeten Stiel. Die zweite Art der Drüsen wird aus acht Zellen zusammengesetzt; diese gruppieren sich zu einem warzen- oder knopfförmigen Körper, der, auf einer sehr kurzen Stielzelle aufliegend, nur wenig über die Oberfläche des Blattes erhoben ist. Außerdem nehmen an der Bildung der Oberhaut noch gewöhnliche plattenförmige Oberhautzellen teil, und überdies sind hier und da Schließzellen von Spaltöffnungen eingeschaltet. Man hat berechnet, daß auf das Quadratcentimeter eines Fettkrautblattes 25 000 schleimaussondernde Drüsen kommen, und daß eine aus 6—9 Blättern bestehende Rosette ungefähr eine halbe Million derselben trägt. Die gestielten Drüsen sind Klebdrüsen und sondern einen zähen Schleim ab, an dem auf das Blatt gelangende kleine Insekten sogleich festkleben; die kurzen Drüsen dagegen sind Verdauungsdrüsen.

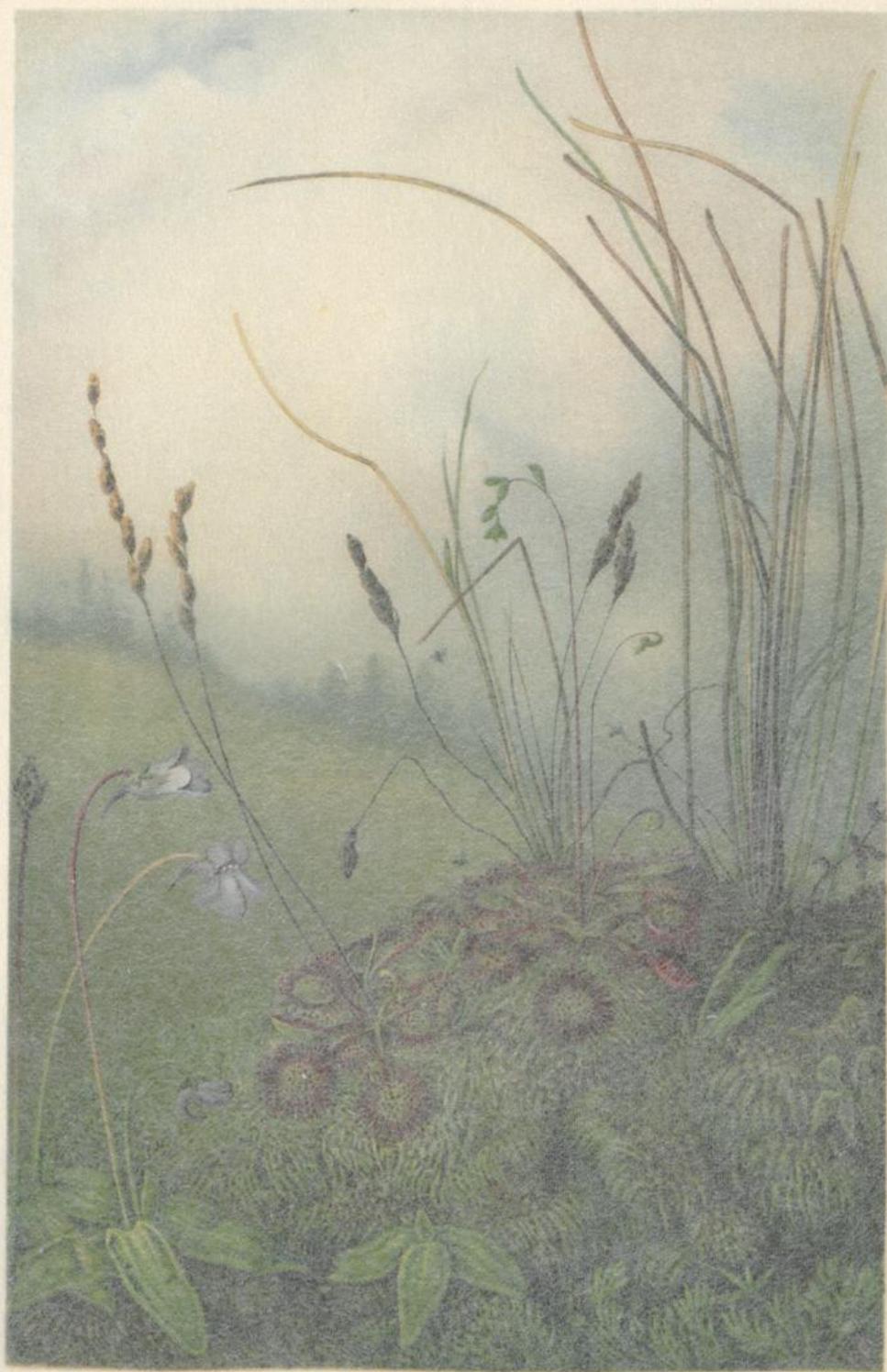
Eine rasch vorübergehende Berührung der Drüsen, sei es flüchtiges Anstreifen fester Körper oder das Auffallen von Regentropfen, verursacht an ihnen keinerlei Veränderung; langanhaltender Druck, ausgeübt von unlöslichen Sandkörnern oder überhaupt von festen, unlöslichen Körpern, veranlaßt die kurzen Drüsenzellen zu einer unbedeutenden Vermehrung der Schleimauscheidung, aber durchaus nicht zur Absonderung saurer Verdauungsflüssigkeit. Sobald aber ein stickstoffhaltiger organischer Körper mit den Drüsen in dauernde Berührung kommt, so werden diese sofort nicht nur zur vermehrten Absonderung von Schleim,

[Zur Tafel: »Tierfangende Pflanzen: Sonnentau u. Fettkraut.«]



Tierfangende Pflanzen: Sonnentau und Fettkraut.

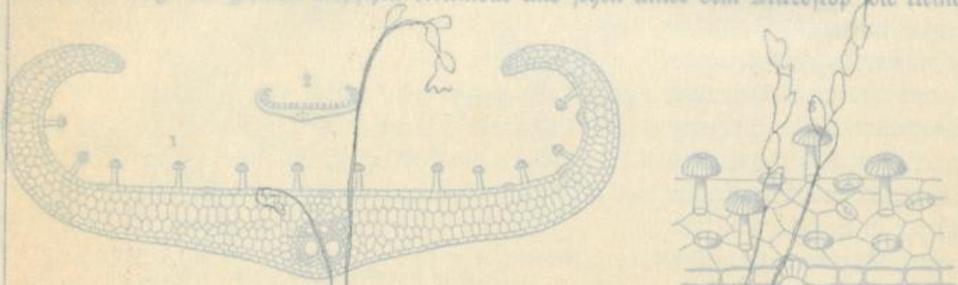
1. *Drosera rotundifolia*. — 2. *Pinguicula vulgaris*. — 3. *Sphagnum cymbifolium*.



Tierfangende Pflanzen: Sonnentau und Fettkrauf.
Nach Aquarell von J. Seelos.

Art ist *Pinguicula vulgaris*. Das fleische Pflänzchen, welches auf der beigegetretenen Tafel „Tierfangende Pflanzen: Sonnentau und Fettkraut“, auf einem Torfmoore wachsend, in natürlicher Größe abgebildet ist, hat veilchenblaue, zweilippige Blüten, die am Saumen mit weißen Samthaaren besetzt sind und nach rückwärts in einen spigen Sporn auslaufen. Die Blüten werden einzeln von schlanken Stielen getragen, welche aus der Mitte einer grundständigen Blattrosette in lockerer Schraubung aufragen. Die Blätter der Rosette sind länglich-elliptisch oder rumpelförmig, von blauer, gelblichgrüner Farbe, liegen mit der unteren Seite dem feuchten Boden auf und kehren die Oberseite dem Himmel und dem einfallenden Regen zu. Dadurch, daß die seitlichen Ränder etwas aufgebogen sind, wird jedes Blatt zu einer breiten Rinne mit lockern Boden (vgl. die Blattdurchschnitte in der untenstehenden Abbildung, Fig. 1 und 2). Die Rinne ist mit festem, klebrigem Schleim bedeckt, und dieser Schleim wird von Drüsen ausgeschieden, die in großer Zahl über die ganze obere Seite des Blattes verteilt sind.

Der Drüsen aber sind zweierlei (s. untenstehende Abbildung, Fig. 3). Die einen sind schon dem freien Auge als gestielte Köpfechen erkennbar und sehen unter dem Mikroskop die kleine



Fangvorrichtung des Fettkrautes: 1. Querschnitt durch ein Fettkrautblatt (*Pinguicula vulgaris*, 50fach vergrößert, 2. dieselbe, natürliche Größe; 3. Stück der Oberhaut eines Fettkrautblattes, 180fach vergrößert.

Entwickelung aus. Sie bestehen aus einer, von 8—16 strahlenförmig gruppierten Zellen zusammengesetzten Scheibe und dem diese Scheibe tragenden, aus einer aufrechten schlauchartigen Zelle gebildeten Stiel. Die eine Art der Drüsen wird aus acht Zellen zusammengesetzt; diese gruppiert sich zu einem kugelförmigen oder knospförmigen Körper, der, auf einer sehr kurzen Stielzelle aufliegend, nur wenig über die Oberfläche des Blattes erhoben ist. Außerdem nehmen an der Bildung der Oberhaut noch die schalenförmigen Oberhautzellen teil, und überdies sind hier und da Epithelzellen, die in Gruppen eingeschaltet. Man hat berechnet, daß auf das Quadratmeter eines Quadratfußes 25000 schleimaussondernde Drüsen kommen, und daß eine aus 8—9 Blättern bestehende Rosette ungefähr eine halbe Million derselben trägt. Die gestielten Drüsen sind Verdauungsdrüsen und sondern einen zähen Schleim ab, dem auf das Blatt gelangende Nahrungsmittel zugleich festleben; die kurzen Drüsen dagegen sind Verdauungsdrüsen.

Eine nach der Berührung der Drüsen, sei es flüchtiges Aufstreifen oder Berührung durch Regen tropfen, verursacht an ihnen keinerlei Veränderung; langandauernde Berührung durch Sandkörner oder überhaupt von festen, anstößigen Körpern, verursacht die kurzen Drüsenzellen zu einer unbedeutenden Vermehrung der Schleimabsonderung, aber dadurch nicht zur Absonderung saurer Verdauungssäfte. Sobald aber ein reichhaltiger organischer Körper mit den Drüsen in dauernde Berührung kommt, so werden diese sofort nicht nur zur vermehrten Absonderung von Schleim,



Tierfangende Pflanzen: Sonnentau und Seftkraut.

Nach Aquarell von J. Seelos.

sondern auch zur Ausscheidung einer Säure angeregt, welche dem Enzym des Sekretes die Fähigkeit verleiht, alle derartigen Körper, namentlich Fleisch, geronnenes Blut, Milch, Eiweiß, ja selbst Knorpel, aufzulösen. Zugleich rollt sich das Blatt mit seinen Rändern ein, die gefangenen Tierchen vollständig umfassend. Durch Versuche wurde z. B. festgestellt, daß feste kleine Knorpelstückchen, welche auf ein Blatt gelegt wurden, dessen Schleim keine Spur einer sauren Reaktion zeigte, nach 10—11 Stunden die Ausscheidung saurer Flüssigkeit veranlaßt hatten und nach 48 Stunden von dem sauren Sekret fast ganz aufgelöst worden waren. Nach 82 Stunden waren diese Knorpelstückchen vollständig verflüssigt, das ganze Sekret wieder aufgesaugt und die Drüsen trocken geworden. Kommen kleine Insekten, etwa kleine Mücken, auf das Fettkrautblatt geflogen, so bleiben sie an dem Schleim kleben, werden durch die Bewegungen, welche sie ausführen, um sich zu retten, immer noch mehr mit Schleim in Berührung gebracht, verenden gewöhnlich in sehr kurzer Zeit und werden durch das infolge des Reizes von den Drüsen ausgeschiedene saure Sekret bis auf die Flügel, Klauen und anderen Skeletteile verdaut und aufgefogen.

Das von den Drüsen ausgefonderte Sekret ist fadenziehend und kann, wenn zahlreiche Drüsen gereizt wurden, so reichlich zum Vorschein kommen, daß die ganze flache Rinne davon erfüllt ist. Wirkt der Reiz nur auf den Saum des Blattes ein, gelangt z. B. ein über den Boden hinkriechendes kleines Insekt oder auch eine von obenher angeflogene Mücke in die Nähe des wenig aufgebogenen Blattrandes, so erfolgt nicht nur die erwähnte Sekretion aus den randständigen, verhältnismäßig nicht sehr reichlichen Drüsen, sondern auch die Rollung des Blattes, welche den Zweck hat, das durch den klebrigen Schleim festgehaltene kleine Tier, wenn möglich, zu überdecken oder dasselbe gegen die Mitte der flachen Rinne zu schieben und so auf die eine oder andere Art mit möglichst vielen Drüsen in Berührung zu bringen. Die Drüsen am Rande würden allein nicht die nötige Menge Sekret liefern, und es werden daher auf die angegebene Art auch die Drüsen aus weiteren Kreisen zu Hilfe genommen. Die Einrollung des Blattrandes vollzieht sich ziemlich langsam; gewöhnlich dauert es einige Stunden, bis ein am Rande festgeklebtes Insekt eingewickelt oder, wenn es einen größeren Umfang hat, gegen die Mitte geschoben ist. Nachdem die Auflösung und Aufsaugung stattgefunden hat, gewöhnlich schon nach 24 Stunden, breitet sich das Blatt wieder aus, und auch seine Ränder nehmen dieselbe Lage wie vor der Einrollung an.

Außer kleinen Tieren gelangen nicht selten auch Pflanzenteile auf die klebrige Fläche der Pinguicula-Blätter, so namentlich Sporen und Pollenzellen, welche durch die Luftströmungen herbeigeführt werden. Ihr protoplasmatischer Inhalt wird ebenso wie Fleisch und Blut der Insekten gelöst und aufgefogen.

Die Wirkung, welche der von den Drüsen des Fettkrautblattes ausgeschiedene saure Saft auf eiweißhaltige Körper ausübt, stimmt mit jener des Magensaftes der Tiere ganz überein. Die Drüsen scheiden zweierlei Stoffe aus: einmal eine freie Säure, dann ein mit dem Pepsin in seiner Wirkungsweise ganz übereinstimmendes Enzym, eine Kombination, durch die bekanntlich auch der Saft des tierischen Magens zur Lösung eiweißartiger Verbindungen befähigt wird. Da die Drüsenzellen des Pinguicula-Blattes alles, was von den angeklebten kleinen Tieren löslich ist, aufsaugen und noch überdies das von ihnen früher ausgeschiedene Lösungsmittel zurücksaugen, so ist die Tätigkeit eines solchen Blattes jener des tierischen Magens sehr ähnlich und kann geradezu als Verdauung bezeichnet werden.

Die Ähnlichkeit, welche zwischen dem Pinguicula-Blatt und dem tierischen Magen in

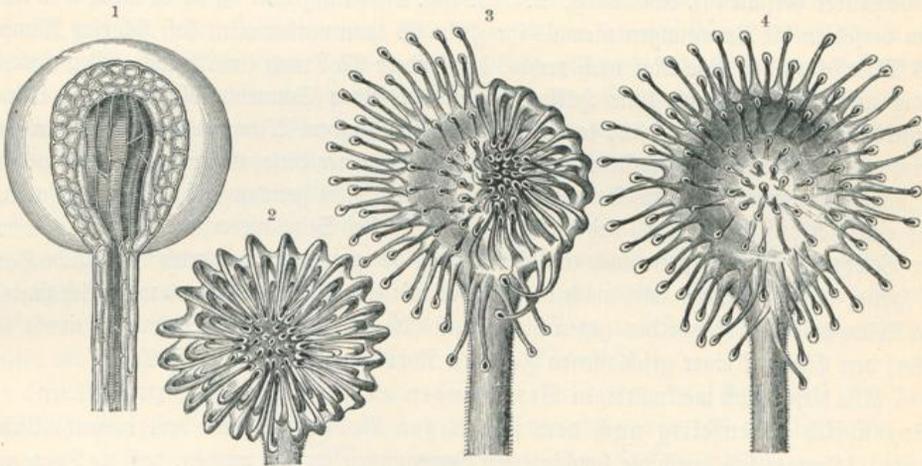
betreff der Wirkung auf eiweißhaltige Substanzen besteht, hat lange vor der Entdeckung dieser Verhältnisse durch die Männer der Wissenschaft zu einer praktischen Anwendung in der Milchwirtschaft geführt. Man kann nämlich mit Hilfe der Fettkrautblätter in der Milch ganz ähnliche Veränderungen wie durch Zusatz von Lab aus dem Magen der Kälber erzielen. Gießt man über diese Blätter frisch gemolkene, noch laue Milch, so gerinnt sie.

Viel rascher und auffallender als an den Arten der Gattung *Pinguicula* vollziehen sich die Bewegungen, durch welche die Einschließung und Verdauung kleiner Tiere erreicht wird, an jenen Gewächsen, welche die zweite Gruppe dieser Tierfänger bilden, und als deren bekannteste Vertreter die Arten der Gattung *Sonnentau* (*Drosera*) anzuführen sind. Sie wurzeln durchweg auf feuchtem, dunklem Moorboden, zeigen also ganz ähnliche Standorte wie die Fettkrautarten, und häufig genug sieht man *Sonnentau* und *Fettkraut* nebeneinander auf ein und demselben handbreiten Streifen des sumpfigen Grundes gedeihen. Auf der Tafel bei S. 320 ist ein solches geselliges Vorkommen zur Anschauung gebracht und *Drosera rotundifolia* im Verein mit *Pinguicula vulgaris* in den Polstern des Torfmooses auf einem Gebirgsmoore zwischen Riedgras wachsend in natürlicher Größe dargestellt. Was beim Anblick des abgebildeten rundblättrigen *Sonnentau*es sowie überhaupt aller 40 bisher bekanntgewordenen *Sonnentau*arten zunächst am meisten auffällt, sind die weichen, weinroten, an dem freien Ende kolbenförmig verdickten und mit einem glänzenden Tröpfchen besetzten Wimpern, die von den Blättern absteigen, und deren Aufgabe im wesentlichen dieselbe ist wie jene der gestielten und ungestielten Drüsen des *Pinguicula*-Blattes. Diese Wimpern des *Sonnentau*es gehen nur von der oberen Blattseite und vom Blattrand aus; die untere Blattseite ist glatt und kahl und liegt bei manchen Arten, wie z. B. bei der auf der Tafel bei S. 320 abgebildeten *Drosera rotundifolia*, dem feuchten, moosigen Boden auf. In dieser Beziehung sowie auch darin, daß sämtliche Blätter eines Stockes grundständig und um den zentralen, blütentragenden, schlanken Stengel rosettenförmig oder strahlenförmig gruppiert sind, besteht eine recht auffallende Analogie der *Drosera* nicht nur mit *Pinguicula*, sondern noch mit vielen anderen Tierfängern, wie namentlich den *Sarrazenien*, *Cephalotus* und der noch später zu besprechenden *Fliegenfalle* *Dionaea*.

Die Wimpern, welche von der oberen Seite und vom Rande des Blattes ausgehen und sich wie die in ein flaches Rissen eingesenkten Stecknadeln ausnehmen, sind von ungleicher Größe. Am kürzesten sind jene, welche senkrecht vom Mittelfeld aufragen, am längsten diejenigen, welche vom äußersten Rande strahlenförmig absteigen (s. Abbildung, S. 323, Fig. 4). Diese Extreme sind durch allmähliche Übergänge verbunden. In runder Zahl kommen auf ein Blatt 200 solcher Wimpern. Das kolbenförmige Köpfschen am freien Ende jeder Wimper (Fig. 1) ist als Drüse aufzufassen. Sie scheidet eine helle, klebrige, zähflüssige, leicht in Fäden ausziehbare Masse ab, die im Sonnenschein wie ein Tautröpfchen schimmert und glänzt, was auch zu der Benennung *Sonnentau* Veranlassung gab. Erschütterungen durch Wind oder fallende Regentropfen bringen keinerlei Veränderung an den Wimpern hervor. Wenn der Wind Sandkörnchen und Erdteilchen mitführt und diese auf das Blatt weht, oder wenn man absichtlich kleine Splitter von Glas, Kohle, Gummi, Zucker oder winzige Mengen von Kleister, Wein, Tee oder was immer für anderen stickstofffreien organischen Körpern mit dem kolbenförmigen Ende der Wimpern in Berührung bringt, so nimmt dort die Ausscheidung von Flüssigkeit zu, auch wird das Sekret sauer; aber es erfolgt keine Absonderung

von Pepsin und keine merkbare Veränderung in der Richtung der Wimpern und der Lage der Blattränder. Sobald aber ein kleines Insekt, welches die glänzenden Perlen an den Wimpern für Honigtröpfchen hält, herbeigeslogen kommt, sich auf das Blatt niederläßt und dabei die Drüsen berührt, oder sobald man künstlich kleine Partikel stickstoffhaltiger organischer Körper, namentlich von Fleisch und Eiweiß, auf die Köpfschen der Wimpern bringt, so erfolgt, wie bei dem Fettkraut, sofort eine vermehrte Ausscheidung der sauren Flüssigkeit und die Ausscheidung eines Enzyms, das mit dem Pepsin in seiner Wirkung auf eiweißartige Verbindungen ganz übereinstimmt und auch als ein Pepsin bezeichnet werden kann.

Die angeflogenen kleinen Insekten, die an der klebrigen Flüssigkeit hängen geblieben waren, suchen sich derselben zu entledigen und mit den Beinen die zähflüssige Masse abzustreifen, besudeln sich aber dadurch nur noch mehr, sind bald an allen Teilen ihres Körpers



Wimpern des Sonnentaublattes: 1 Drüse am Ende einer Wimper, 30fach vergrößert, 2 Blatt, dessen sämtliche Wimpern gegen die Mitte gebeugt sind, 3 Blatt, bei dem nur die Hälfte der Wimpern über ein gefangenes Insekt gebeugt sind, 4 Blatt mit ausgestreckten Wimpern. Fig. 2—4 vierfach vergrößert. (Zu S. 322—325.)

beschnürt und durch das klebrige Sekret in den Bewegungen beschränkt. Ihre Versuche, sich zu retten, hören auch bald auf, und da die Mündungen ihrer Atmungsorgane mit dem Sekret überzogen und verstopft werden, erleiden sie in verhältnismäßig kurzer Zeit den Erstickungstod. Alle diese Vorgänge stimmen mit jenen, die durch die gleiche Ursache an dem Fettkrautblatt veranlaßt werden, der Hauptsache nach überein. Was aber die Blätter des Sonnentaublattes besonders auszeichnet, sind die Bewegungen, welche die Wimpern infolge der Reizung durch tierische Körper vollführen, und die am auffälligsten an den vom Saume des Blattes strahlenförmig abstehenden längsten Wimpern zu beobachten sind. Wenige Minuten, nachdem die Drüse einer solchen randständigen Wimper durch Anheften eines tierischen lebendigen oder toten Körpers gereizt wurde, bemächtigt sich des ganzen Wimpernbefuges eine förmliche Aufregung. Zunächst beugt sich diejenige Wimper, welche die gereizte, mit dem tierischen Körper beklebte Drüse trägt, nach einwärts und führt dabei eine Bewegung aus, die man mit jener des Zeigers einer Uhr vergleichen kann. Unter besonders günstigen Verhältnissen bewegt sie sich schon in 2—3 Minuten um einen Winkel von 45° und in 10 Minuten um 90° einwärts. Noch anschaulicher als durch das Vorrücken des Zeigers einer

Uhr kann man sich diese Bewegung vorstellen, wenn man das Sonnentaubblatt mit der menschlichen Hand vergleicht und denkt, daß ein an die Fingerspitze angeklebter Körper durch die Einwärtskrümmung des betreffenden Fingers im Laufe von 10 Minuten zur Fläche der Hand hinbefördert wird. Etwa 10 Minuten später, nachdem sich die erste Wimper in Bewegung gesetzt hat, beginnen auch die neben ihr stehenden sich zu beugen (s. Abbildung, S. 323, Fig. 3), nach wieder 10 Minuten folgen die weiter entfernten, und im Verlaufe von einer bis zu drei Stunden sind sämtliche Wimpern gegen den tierischen Körper, welcher die Beute der zuerst in Bewegung geratenen Wimper geworden war, als dem gemeinsamen Ziel, hingeneigt.

Es darf hier nicht unerwähnt bleiben, daß dieses Ziel nicht immer die gleiche Lage auf der Blattfläche einnimmt. Manchmal ist es allerdings genau die Mitte des Blattes, wo sich der erbeutete tierische Körper befindet, über den dann sämtliche Wimpern des ganzen Blattes nacheinander herfallen (s. Abbildung, S. 323, Fig. 2); häufig aber ist sie es nicht, und trotzdem verfehlen die Bewegungen niemals ihr Ziel. Es kann vorkommen, daß sich eine Wimper des Mittelfeldes das eine Mal nach rechts, das andere Mal nach links beugt. Wenn gleichzeitig auf die rechte und linke Hälfte ein und desselben Sonnentaubblattes je ein kleines Stückchen Fleisch gebracht wird, so teilen sich die zweihundert Wimpern des Blattes in zwei Gruppen, und jedes Fleischstückchen wird zum Zielpunkt einer dieser Gruppen. Ebenso verhält es sich, wenn zwei kleine Insekten gleichzeitig auf ein Blatt geraten sind, und zwar so, daß das eine sich auf der rechten, das andere auf der linken Seite niederließ. Häufig geht mit der Bewegung der Wimpern auch eine Krümmung der ganzen bewimperten Blattfläche Hand in Hand; die Blattspreite wird nach oben konkav wie eine hohle Hand, und wenn sich zugleich die Wimpern vom Rande her gegen die ausgehöhlte Mitte eingeschlagen haben, macht das Blatt den Eindruck einer geschlossenen Faust (s. Abbildung, S. 323, Fig. 2).

Alle diese höchst merkwürdigen Bewegungen wechseln von Fall zu Fall und ergänzen sich gegenseitig nach dem jeweiligen Bedürfnis und dem augenblicklichen Vorteil. Immer soll durch die kombinierten Bewegungen erreicht werden, daß die Beute mit reichlichem, aus zahlreichen Drüsen zufließendem Sekret versetzt, dadurch verdaut und so zur Aufsaugung und Ernährung geeignet gemacht wird. Ist ein Insekt an einer der randständigen Wimpern hängen geblieben, so würde die dort abgeforderte Flüssigkeit zu dem erwähnten Zwecke nicht genügen; es wird daher die Beute durch Bewegung dieser Wimpern möglichst weit gegen die Mitte der Blattfläche übertragen, damit sie dort mit der ausgeschiedenen Verdauungsflüssigkeit einer möglichst großen Zahl von Drüsen in Berührung kommt. Nur dann, wenn das gefangene Tier von etwas größerem Umfang ist, höhlt sich das Blatt in der Mitte löffelförmig aus, und es fließt von mehr als 50 Drüsen die Flüssigkeit in die Grube zusammen. In solchem Falle bleiben die Wimpern auch viel länger eingeschlagen, weil die Auflösung der Beute mehr Zeit beansprucht. War das erbeutete Tier von sehr geringem Umfange, dann ist die Auflösung und Aufsaugung schon nach ein paar Tagen vollendet; die Wimpern heben sich wieder, strecken sich gerade und nehmen ihre ursprüngliche Lage ein. Von den gefangenen Tieren sind nur noch die Kiefer, Flügel, Facettenaugen, Beinshienen, Klauen und dergleichen unverdaut zurückgeblieben; ihr Fleisch und Blut ist aber vollständig ausgefressen, und auch alle Flüssigkeit, welche die Drüsen zum Behuf der Lösung ausgeschieden hatten, ist von denselben wieder zurückgezogen worden. Die erwähnten unverdauten Reste hängen jetzt als gebleichte Häutchen und Fäserchen an den trocken gewordenen Wimpern und können durch Winde leicht von den Blättern weggeweht werden. Nach einem oder zwei Tagen scheiden

die in ihre ursprüngliche Lage zurückgekehrten Drüsen am Ende der Wimpern wieder klebrige Flüssigkeit in Gestalt von kleinen Tauperlen aus, und das Blatt ist neuerdings ausgerüstet, Beute aufzunehmen und die geschilderten Bewegungen zu wiederholen.

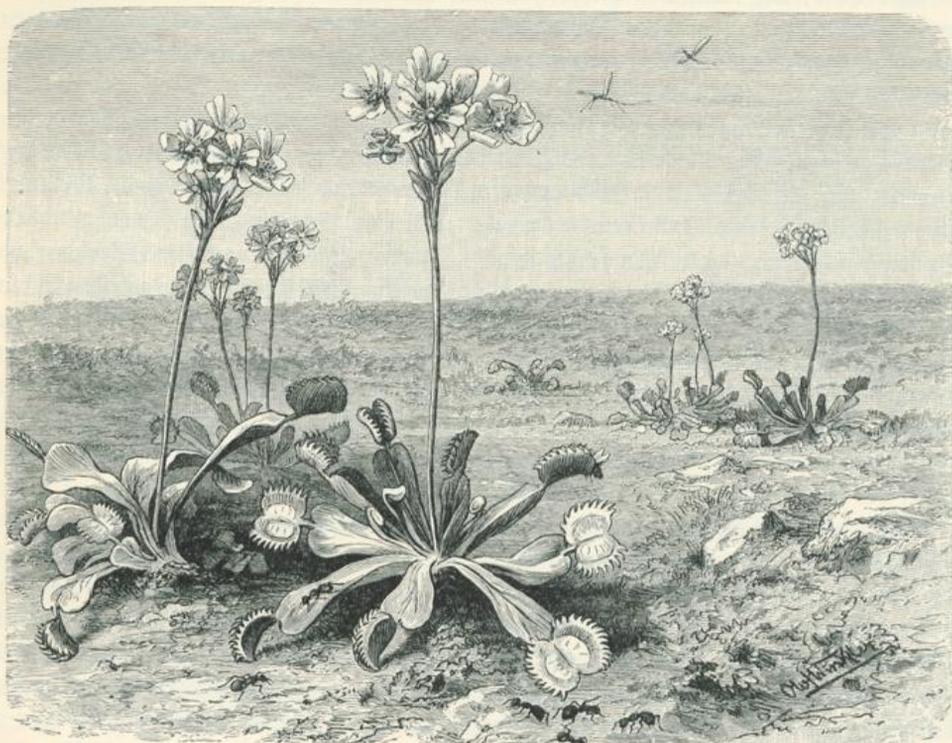
Unter den Tieren, welche dem Sonnentau zum Opfer fallen, spielen kleine Mücken die hervorragendste Rolle; aber auch etwas größere Fliegen, geflügelte und ungeflügelte Ameisen, Käfer, kleine Schmetterlinge, ja selbst Libellen kommen fliegend, laufend oder kriechend herbei und verkleben sich mit den gleich Leimspindeln ausgestreckten drüsentragenden Wimpern. Größere Tiere, wie namentlich Libellen, werden durch Beteiligung von zwei oder drei benachbarten Blättern festgehalten. Wie groß die Zahl der von dem Sonnentau erbeuteten Tiere ist, mag danach berechnet werden, daß man einmal auf einem einzigen Blatte die Reste von nicht weniger als 13 verschiedenen Insekten gefunden hat.

Die Untersuchungen über die Empfindlichkeit des Sonnentaublattes haben folgende Ergebnisse geliefert. Der Abschnitt eines Frauenhaares von 0,2 mm Länge und 0,000822 mg Gewicht, auf die Drüse einer *Drosera rotundifolia* gebracht, veranlaßte in der Wimper, von welcher die gereizte Drüse getragen wurde, noch eine Bewegung, die sich äußerlich als Beugung zu erkennen gab. Ein solcher winziger Körper, auf die Zunge eines Menschen gebracht, wird dort nicht mehr wahrgenommen, und die Empfindlichkeit der Protoplasten in den Sonnentaudrüsen ist daher größer als jene der Nervenendigungen in der Zungenspitze, die doch bekanntlich als die empfindlichsten des menschlichen Körpers angesehen werden. Von kohlenstoffsaurem Ammoniak genügte $\frac{1}{4000}$ und von phosphorsaurem Ammoniak $\frac{1}{30000}$ mg, um eine Bewegung zu veranlassen. Aus allen Versuchen geht hervor, daß flüssige Stoffe noch kräftiger reizen als feste, und daß die Beugung der Wimpern desto rascher erfolgt, je nahrhafter der auf die Drüse übertragene Stoff für die Pflanze ist.

Interessant ist es, daß man die materielle Veränderung, welche in den gereizten und den Reiz leitenden Protoplasten des Sonnentaublattes vor sich geht, bei sehr geringer Vergrößerung, ja selbst mit freiem Auge in den Drüsen und Wimpern zu sehen und zu verfolgen imstande ist. Jede Wimper des Sonnentaublattes wird aus einem oder zwei Gefäßen mit feinen schraubenförmigen Skulpturen an der inneren Seite und aus parenchymatischen, dieses Gefäß oder Gefäßpaar einhüllenden Zellen gebildet, und jede Drüse besteht in der Mitte aus einer Gruppe länglicher, an der inneren Seite mit sehr zarten schraubigen Verdickungen ausgestatteter Zellen (Spiroiden), in die sich das durch die Mitte der Wimper verlaufende Gefäß oder Gefäßpaar auskeilt (s. Abbildung, S. 323, Fig. 1). Zwei oder drei Schichten parenchymatischer Zellen umgeben die mittlere Gruppe der Spiroiden. In jeder parenchymatischen Zelle erkennt man den Protoplasten, der einen dicken Wandbeleg bildet, fortwährend in strömender, zirkulierender Bewegung ist und in seinen Vakuolen eine gleichmäßig purpurn gefärbte Flüssigkeit enthält. Wird nun auf diese Zellen das winzigste Bruchstück eines tierischen Körpers, Fleisch, Eiweiß und dergleichen, gelegt, so wirkt dieses als Reiz auf den Inhalt der Zellkammern, und dieser Reiz äußert sich in der Weise, daß sich die bisher gleichmäßig purpurn gefärbte Flüssigkeit in dunkle, rundliche, keulige und wurmförmige Klumpen und wolkenförmige Ballen und in eine fast farblose Flüssigkeit sondert. Diese Veränderung aber pflanzt sich von dem gereizten Punkte fort von Zelle zu Zelle abwärts durch die Wimper, über die Blattfläche zu den Nachbarwimpern, an diesen hinauf bis zu den Köpfchen und so weiter und weiter wie ausstrahlend nach allen Richtungen. Und Hand in Hand mit diesem sichtbaren Zeichen der Leitung und Fortpflanzung des Reizes

geht auch die Krümmung aller Wimpern, in denen sich die Purpurflüssigkeit in der angegebenen Weise verändert hat. Ist das Stückchen Fleisch, welches den Reiz ausübte, gelöst und verdaut, und nehmen die Wimpern wieder ihre ursprüngliche Lage ein, so verschwinden auch die dunkeln Klumpen und Ballen in der Leibeshöhle der Protoplasten, und es stellt sich die gleichmäßige Purpurfarbe, wie sie vor der Reizung bestanden hatte, wieder her.

Die etwa 90 Arten der Gattung Sonnentau sind über alle Weltteile verbreitet, und sie ist auch die artenreichste aus der Familie der Droserazeen. Die Blattformen sind bei anderen

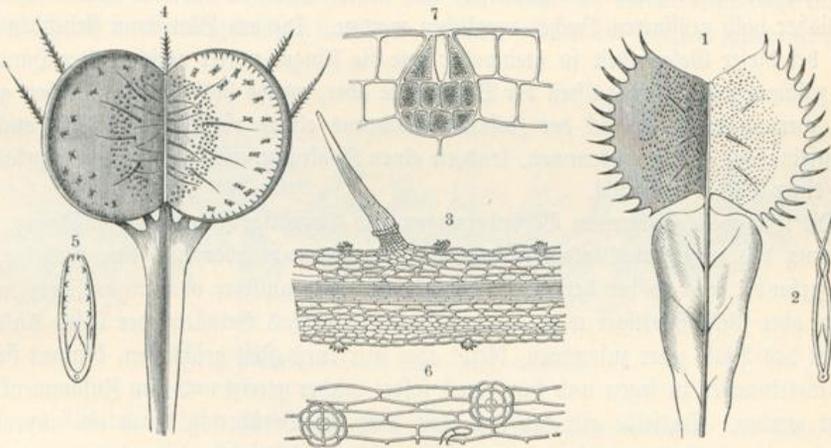


Die Venusfliegenfalle (*Dionaea muscipula*). (Zu S. 327.)

Drosera-Arten ganz andere wie bei unserem einheimischen Sonnentau; *Drosera spatulata* hat spatelförmige, reich mit Drüsen besetzte Blätter, die als zierliche kreisrunde Rosetten dem Boden aufliegen. *Drosera binata* und *dichotoma* haben gabelig verzweigte Blätter. Bei *Drosera stolonifera* stehen die Blätter in Quirlen, und die Pflanze hat einen strauchigen Habitus. Die Art des Insektenfanges ist überall die gleiche. Die meisten anderen dieser Familie angehörigen Gattungen, *Dionaea*, *Aldrovandia*, *Byblis*, *Roridula*, *Drosophyllum*, sind dagegen nichts weniger als reich gegliedert. Jede derselben ist nämlich nur durch eine einzige oder durch einige wenige Arten vertreten, und jede wurde nur in einem sehr beschränkten Gebiet aufgefunden. So wie *Drosera* sind sie sämtlich „insektenfressende Pflanzen“ und besitzen alle die Fähigkeit, die stickstoffhaltigen Verbindungen aus getöteten Tieren aufzulösen, aufzusaugen und als Nahrungszusatz zu verwenden. Die auffallendsten unter ihnen aber sind *Dionaea* und *Aldrovandia*, welche die allerdings sehr kleine dritte Gruppe der Tierfänger

bilden, welche beim Fange Bewegungen ausführen, und deren Fang- und Verdauungsvorrichtungen zu den seltsamsten Einrichtungen gehören, welche die Pflanzenwelt aufweist.

Die Venusfliegenfalle (*Dionaea muscipula*), die hier untenstehend in halber Größe abgebildet ist, kommt wildwachsend nur in einem beschränkten Landstrich im östlichen Nordamerika (von Long Island bis Florida) am Rande der Torfmoore vor. Ihre Blätter sind, ähnlich denen vieler anderer tiersfangender Pflanzen, rosettenförmig um den blütentragenden Schaft gruppiert und die meisten mit der Rückseite ganz oder teilweise dem Moorboden aufliegend. Jedes Blatt besteht aus dem spatelförmigen, flachen Blattstiel, der nach vorn zu wie abgestutzt und plötzlich auf die Mittelrippe zusammengezogen ist, und aus der rundlichen Blattspreite. Diese letztere ist durch den Mittelnerv in zwei gleichgroße Hälften geteilt, welche



Fangvorrichtungen an den Blättern der Venusfliegenfalle und der Aldrovandia: 1 ausgebreitetes Blatt der Venusfliegenfalle, 2 Durchschnitt durch ein zusammengeklapptes Blatt, 3 eine der reizbaren Borsten auf der Blattfläche; 4 ausgebreitetes Blatt der Aldrovandia, 5 Durchschnitt durch ein zusammengeklapptes Blatt, 6 Drüsen auf der Blattfläche der Aldrovandia; 7 Drüsen in der Wand eines Sarracenienschlauches. (Zu S. 310, 327, 328, 330 und 331.)

wie die Blätter eines halb offenen Buches unter einem Winkel von $60-90^{\circ}$ gegeneinander geneigt sind. Der rechte sowie der linke Rand der Blattspreite laufen jeder in 10—20 spitze, lange Zähne aus, die aber weder eine Drüse noch sonst irgendein besonderes Gebilde an ihrer Spitze tragen (s. obenstehende Abbildung, Fig. 1).

Auf dem Mittelfeld einer jeden Blatthälfte befinden sich je drei sehr steife und spitze Borsten, die stets kürzer als die Zähne des Randes sind und von der Blattfläche schief in die Höhe ragen. Sie sind aus langgestreckten Zellen zusammengesetzt (s. obenstehende Abbildung, Fig. 3), und außerordentlich reizbar. An der Basis dieser borstenförmigen Gebilde findet sich ein aus kleinen Parenchymzellen gebildetes, sehr kurzes zylinderförmiges Gelenk, welches ein Niederbeugen der Borsten zuläßt. Diese selbst sind nämlich starr und werden infolge eines auf sie einwirkenden Druckes auch nicht gekrümmt, sondern nur auf die Blattfläche niedergedrückt, wobei das erwähnte Gewebepolster einknickt und gleichsam als Gelenk dient. Außer diesen Borsten finden sich über die ganze obere Seite der Blattspreite zerstreut noch Drüsen, welche den kurzgestielten Drüsen des Fettkrautblattes ähnlich sehen, aus kleinen Zellen zusammengesetzt sind, eine purpurne Farbe haben und zur Ausscheidung einer schleimigen

Verdauungsflüssigkeit befähigt sind. Am Blattsaum, zwischen den spitzen Zähnen sowie an der unteren Seite des Blattes zeigen sich auch noch kleine Sternhaare.

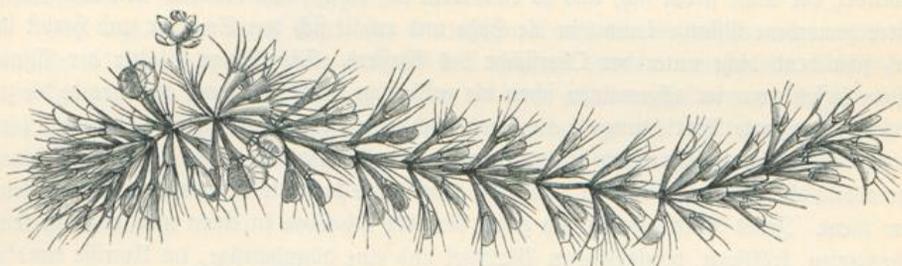
Stoß, Druck, Erschütterungen der ganzen Pflanze oder eines ganzen Blattes durch Wind oder fallende Regentropfen, ja selbst Verletzungen an den Blattstielen und an der unteren Seite der Blattspreite bringen keinerlei ersichtliche Bewegungen hervor; sobald aber die obere Seite der Blattspreite berührt wird, so nähern sich die beiden bisher unter einem rechten Winkel gegeneinander geneigten Hälften der Blattspreite plötzlich, bis die spitzen Zähne des Randes ineinander greifen und der berührende Körper zwischen zwei Wände eingeschlossen ist (s. Abbildung, S. 327, Fig. 2). Wurden von dem berührenden Körper nur die mit den purpurnen Drüsen besetzten Stellen der Blattspreite gereizt, so erfolgt dieses Zusammenfallen und Schließen meist gar nicht; wurde aber eine der sechs Borsten noch so leise betastet, so erfolgt das Schließen geradezu momentan, und kann am besten mit dem Zusammenklappen eines bisher halb geöffneten Buches verglichen werden. Die am Blattsaum stehenden Zähne greifen bei dieser Gelegenheit so ineinander wie die Finger zweier verschränkter Hände; die beiden zusammengerückten Hälften der Blattspreite aber, welche bisher ebene Flächen gebildet hatten, werden im Augenblick des Zusammenklappens etwas vertieft, so daß sie auch nicht platt aufeinander zu liegen kommen, sondern einen Hohlraum umschließen, der ungefähr dem Umriß einer Bohne entspricht.

Die nun weiter folgenden Veränderungen und Vorgänge sind davon abhängig, ob die Berührung des reizbaren Blatteiles eine länger andauernde oder nur eine flüchtige, rasch vorübergehende, und ob der berührende Körper ein unorganischer oder organischer, ein stickstoffloser oder stickstoffhaltiger war. Erfolgte nur ein rasches Betasten oder leichtes Anstreifen, so klappt das Blatt zwar zusammen, bleibt aber nur kurze Zeit geschlossen, beginnt sich bald wieder auseinander zu legen und kann auch sofort wieder gereizt und zum Zusammenklappen gebracht werden. Dasselbe gilt für den Fall, daß die Berührung durch ein anprallendes Sandkorn oder sonst irgendeinen unorganischen Körper stattfand, ja auch dann, wenn der Reiz zwar von einem organischen, aber stickstofflosen Gebilde ausging. War dagegen der auf die obere Seite der Blattspreite gelangte Körper stickstoffhaltig, und war die Berührung nicht gar zu flüchtig, so bleiben die beiden Blatthälften längere Zeit über ihm zusammengeslagen, verlieren ihre Ausbuchtung, werden platt und eben und pressen sich so fest aufeinander, daß weichere dazwischenliegende Gegenstände gequetscht und zerdrückt werden. Auch beginnen dann die bis dahin trockenen Drüsen eine schleimige, farblose, sehr saure Flüssigkeit auszuscheiden, und zwar auch jene Drüsen, welche mit dem eingeschlossenen stickstoffhaltigen Körper gar nicht in Berührung sind. Dieses Sekret fließt so reichlich, daß es in Tropfenform zwischen den geschlossenen Blatthälften hervorquillt. Es umgibt den eingeschlossenen Körper und löst allmählich dessen eiweißartige Verbindungen auf. Hierauf wird das Sekret, und was sich in ihm gelöst hat, von denselben Drüsen wieder aufgesogen, welche früher in Folge des Reizes die saure pepsinhaltige Flüssigkeit ausgeschieden hatten, und wenn sich jetzt die Falle wieder öffnet, so sind die Drüsen trocken. Was von dem eingeschlossenen Körper löslich war, ist verschwunden; die sechs kleinen Borsten, welche in dem geschlossenen Blatte wie die Klinge eines Taschennessers eingeknickt und auf die Fläche gedrückt waren, richten sich wieder auf, und das Blatt ist zu neuem Fang bereit.

Je nach der Größe des stickstoffhaltigen, auf die Blattfläche gelangten Körpers ist auch die zu seiner Verdauung notwendige Zeit verschieden. Gewöhnlich bleibt das Blatt 8—14,

manchmal aber auch 20 Tage geschlossen. Größere lebende Gliedertiere, Ohrwürmer, Tausendfüße, Libellen, welche auf die obere Blattfläche kommen, veranlassen zwar ein Zusammenklappen, vermögen aber, wenn sie mit einem Teil ihres Körpers über den gezahnten Rand der Blattspreite hinausragen, noch zu entchlüpfen, da die Zähne des Blattrandes biegsam sind und einem kräftigen Drucke nachgeben. Kleinere Tiere aber, über welche die beiden Hälften der Blattspreite ganz zusammenklappen, sind rettungslos verloren; sie ersticken alsbald in der reichlich von den Drüsen ausgeschiedenen Flüssigkeit und werden bis auf die unverdaulichen Klauen, Beinchen, Ringe und dergleichen aufgelöst und verdaut.

Von den früher geschilderten Einrichtungen des Sonnentaublattes weichen jene des *Dionaea*-Blattes trotz des gleichen Zieles und Erfolges doch sehr wesentlich ab. Die Teilung der Arbeit ist bei der Fliegenfalle jedenfalls weiter vorgeschritten, indem die vorzugsweise reizbaren Gebilde, nämlich jene sechs kleinen Borsten, welche der oberen Blattfläche aufsitzen, nicht zugleich als Verdauungsdrüsen fungieren. Ebenso tragen die langen, spizen Zähne am



Die Albrovandie (*Aldrovandia vesiculosa*).

Saume des Blattes, welche ihrer Lage nach den randständigen Wimpern des Sonnentaublattes zu vergleichen sind, keine Drüsen und dienen nur zum sicheren Abschluß der Falle, in welche das Tier geraten war. Es sind demnach an der *Dionaea* besondere Ausbildungen für drei verschiedene Einrichtungen vorhanden: für die Reizung, für das Fangen und für die Verdauung, während an dem Blatte der *Drosera* alle diese Funktionen den drüsentragenden Wimpern allein zukommen. Durch den Reiz, der an dem Blatte der Fliegenfalle auf die Stacheln wirkt, wird die rasche Bewegung der Blatthälften und die Ausscheidung von Verdauungsflüssigkeit aus den Drüsen ausgelöst, und die Ausscheidung erfolgt demnach durch Vermittelung von Zellen, welche unmittelbar gar nicht gereizt wurden. Es ist dieser Vorgang jedenfalls hier noch weit auffallender als an dem Sonnentaublatt. Die Leitung des Reizes, wenn sie auch der Hauptsache nach bei beiden verglichenen Pflanzen dieselbe ist, erfolgt bei *Dionaea* jedenfalls weit schneller als bei *Drosera*.

Die mit der Fliegenfalle im Bau des Blattes zunächst verwandte *Aldrovandia* ist eine Wasserpflanze, welche zerstreut im südlichen und mittleren Europa vorkommt. Sie gedeiht nur in stehenden Gewässern, in feuchten Gräben, Tümpeln und kleinen Teichen, die von Röhricht und hohen Binzen eingefast sind, wo klares, im Sommer bis zu 30° sich erwärmendes, sogenanntes weiches Wasser die Pflanzen umspült, und wo jede Inkrustation mit kohlensaurem Kalk, durch welche die zarten Teile der Blätter in ihren Bewegungen gehemmt werden könnten, ausgeschlossen ist. Bei flüchtiger Betrachtung möchte man *Aldrovandia vesiculosa*, die obenstehend in natürlicher Größe und in der Lage, die sie im Wasser einnimmt,

abgebildet ist, für eine *Utricularia* (s. Abbildung, S. 305) halten. Wie diese, erhält sie sich schwebend im Wasser, ist wurzellos und zeigt einen dünnen, fadenförmigen, mit wirtelig gestellten, in Borsten auslaufenden Blattbildungen besetzten Stengel, welcher in dem Maß, als er an der Spitze weiter wächst, rückwärts abstirbt und dort in Verwesung übergeht. Auch die Bildung überwinternder Knospen ist ganz ähnlich wie bei *Utricularia*. Das Stengelende der Pflanze streckt und verlängert sich gegen den Herbst zu nicht weiter, und die paar hundert junger kleiner Blätter, welche das Stengelende schmücken, und deren Zellen mit Stärkekörnern ganz erfüllt sind, bleiben dicht gehäuft neben- und übereinander liegen und bilden einen eiförmigen, dunkeln, borstigen Ballen, der mit Beginn des Winters auf den Grund des Tümpels oder Teiches hinabsinkt und dort, auf dem Schlamm liegend, überwintert.

Erst ziemlich spät im darauffolgenden Frühling, wenn schon kleine Rückenlarven und andere Tiere in Hülle und Fülle sich im Wasser herumtummeln, regt sich wieder neues Leben in diesen Gebilden. Die Stärkekörner in den Blättern werden verflüssigt und als Baustoffe verwendet, die Achse streckt sich, und es entwickeln sich luftgefüllte Räume. Die infolge dessen leichter gewordene Pflanze kommt in die Höhe und erhält sich den Sommer und Herbst hindurch schwebend dicht unter der Oberfläche des Wassers. Die kleinen Blätter der Winterknospen lassen zwar im allgemeinen schon die zukünftige Form erkennen, aber gerade die zum Tierfange geeignete Vorrichtung ist an ihnen noch wenig entwickelt. Wenn aber die Blätter einmal vollständig ausgewachsen sind, tragen sie eine Blattspreite, welche jener der *Dionaea* außerordentlich ähnlich gestaltet ist und auch ganz so wie diese als Klappe zum Fangen kleiner Tiere dient. Jedes Blatt gliedert sich gleich dem der *Dionaea* in einen nach vorn zu keulig verbreiterten, kräftigen, dunkelgrünen Blattstiel und eine dünnhäutige, im Umrisse rundliche Blattspreite, deren beide durch die Mittelrippe verbundene Hälften gegeneinander unter einem nahezu rechten Winkel geneigt sind (s. Abbildung, S. 327, Fig. 4). Diese Mittelrippe ragt borstenförmig über das Ende der zarten Blattspreite hinaus. Außerdem entspringen noch aus dem Blattstiel neben der Stelle, wo sich die Blattspreite ansetzt, verhältnismäßig lange, starre, äußerst fein bestachelte Borsten, die nach vorn gerichtet abstehen, dem ganzen Blatt ein borstiges Ansehen geben und die Annäherung von Tieren, die zum Fange nicht geeignet wären, abwehren. Die beiden Ränder der Blattspreite sind eingebogen und am Saume mit kleinen kegelförmigen Spitzen besetzt. Auf der Fläche der Blattspreite, besonders längs der Mittelrippe, finden sich spitze Bürstchen und dann, von der Mittelrippe bis ungefähr zur Mitte jeder Blatthälfte, in großer Zahl größere und kleinere Drüsen. Die größeren Drüsen sind scheibenförmig, sehen den sitzenden Drüsen auf den Fettkrautblättern nicht unähnlich, bestehen aus vier mittleren und zwölf um diese im Kreise gruppierten Zellen und werden von einem sehr kurzen Stiele getragen. Die kleineren Drüsen sind armzellig und bestehen gewöhnlich nur aus einer köpfchenförmigen Zelle, die auf einer kurzen Stielzelle aufsitzt (s. Abbildung, S. 327, Fig. 6). Diese sind die Digestionsdrüsen. Gegen den eingebogenen Rand der Blattspreite zu zeigen sich auch noch zerstreute Sternhaare, d. h. Zellenverbände, die so gruppiert sind, daß sie, von oben gesehen, ein Andreaskreuz darstellen.

Wenn kleine im Wasser schwimmende Tiere oder schwimmende Diatomeen, zumal *Navicula*-Arten, die obere Seite der unter rechtem Winkel gegeneinander geneigten Hälften der Blattspreite berühren, besonders wenn sie im Vorübergleiten die Borsten am Mittelfelde streifen, schlagen die beiden Blatthälften gerade so wie jene der *Dionaea* rasch zusammen, und das Tier oder die *Navicula* ist nun zwischen zwei etwas ausgebauchten Wänden wie in

einem Käfig eingeschlossen. Einem etwaigen Versuch des gefangenen Tieres, an der Stelle zu entweichen, wo sich die beiden Ränder der Blattspreite aneinandergelegt haben, wird dadurch gewehrt, daß der Saum der eingeschlagenen Ränder mit spitzen, gegen den Innenraum der gebildeten Höhlung gerichteten Zacken besetzt ist (s. Abbildung, S. 327, Fig. 5).

Unter den Gefangenen findet man wieder dieselbe Gesellschaft wie in den Fällen der *Utricularia*, nämlich kleine Cyclops-, Daphnia- und Cypris-Arten, Larven von Wasserinsekten, nicht selten auch *Navicula*-Arten und andere frei und einzeln lebende Diatomeen. Wie diese Häftlinge getötet und dann verdaut werden, ist noch nicht genau ermittelt; auf keinen Fall geht das so rasch wie bei *Dionaea*, da man einzelne der Tiere sechs Tage, nachdem sie gefangen wurden, noch lebend in ihrem Gefängnis gesehen hat. Schließlich aber hören die Bewegungen und Lebensregungen der Gefangenen auf; und wenn man nach ein paar Wochen die beiden Hälften der Blattspreite auseinanderzerzt, so sind nur noch Schalen, Borsten, Leibesringe und Kieselpanzer als Inhalt zu finden, während alles, was löslich war, verschwunden ist und offenbar aufgefogen wurde.

Sehr ähnlich der durch Süd- und Mitteleuropa verbreiteten Art sind die in Australien heimische *Aldrovandia australis* und die das tropische Indien bewohnende *Aldrovandia verticillata*. Der Umstand, daß man innerhalb ihrer zusammengeklappten Blattspreiten die Reste von kleinen Wasserkäfern und anderen Tieren gefunden hat, läßt darauf schließen, daß sie sich in derselben Weise als Tierfänger verhalten wie *Aldrovandia vesiculosa*.

Die Tierfänger mit Klebevorrichtungen.

Die Formen, welche eine vierte Abteilung tierfangender Pflanzen bilden, haben weder Fallgruben, noch zeigen sie Bewegungen, die durch Berührung mit tierischen Körpern hervorgerufen werden, sondern ihre Blätter stellen unbewegliche Leimspindeln dar, deren Drüsen die Fähigkeit haben, klebrige Substanzen zum Fang und Säfte zum Verdauen der gefangenen Tiere auszuscheiden, und welche überdies imstande sind, die gelösten eiweißartigen Verbindungen zu resorbieren. Das auffallendste und am genauesten untersuchte Vorbild dieser Abteilung ist das in Südspanien, Portugal und in Marokko heimische Taublatt (*Drosophyllum Lusitanicum*), welches auf S. 333 abgebildet ist. Diese Pflanze weicht von allen bisher besprochenen Tierfängern in betreff des Standortes insofern ab, als sie nicht unter Wasser, auch nicht an sumpfigen Orten, sondern auf sandigem Boden und felsigen, trockenen Bergen wächst. Der Stengel wird an kräftigen Exemplaren nahezu eine Spanne hoch und trägt oben an den spärlichen kurzen Verzweigungen 2—3 cm große Blüten. Die Blätter sind lineal, gegen die fadenförmige Spitze allmählich verschmälert, auf der Oberseite etwas rinnenförmig vertieft. Mit Ausnahme dieser Rinnen sind die Blätter ganz und gar mit in der Sonne schimmernden, an Tautropfen erinnernden Perlen besetzt, weshalb die Pflanze den Namen Taublatt (*Drosophyllum*) führt. Die Pflanze haucht einen auffallenden Honigdunst aus, der zweifellos die Insekten aus der Ferne anlockt. Die glänzenden Tropfen sind das Sekret von Drüsen, die in zweierlei Gestalt die Blätter bedecken. Länger gestielte erinnern an jene des Sonnentaues (*Drosera*) und stimmen mit ihnen darin überein, daß sie rot gefärbt sind, daß der stielartige Träger der Drüse Gefäße und die Drüsen selbst längliche Zellen enthalten, deren Innenwände durch schraubig

verlaufende feine Leisten verdickt sind, und ferner dadurch, daß das Sekret als eine tropfenartige farblose Hülle die Drüse umgibt. Diese gestielten Drüsen scheiden nun ein schleimiges Sekret aus, welches nicht verdauend wirkt, sondern nur die Insekten lähmt.

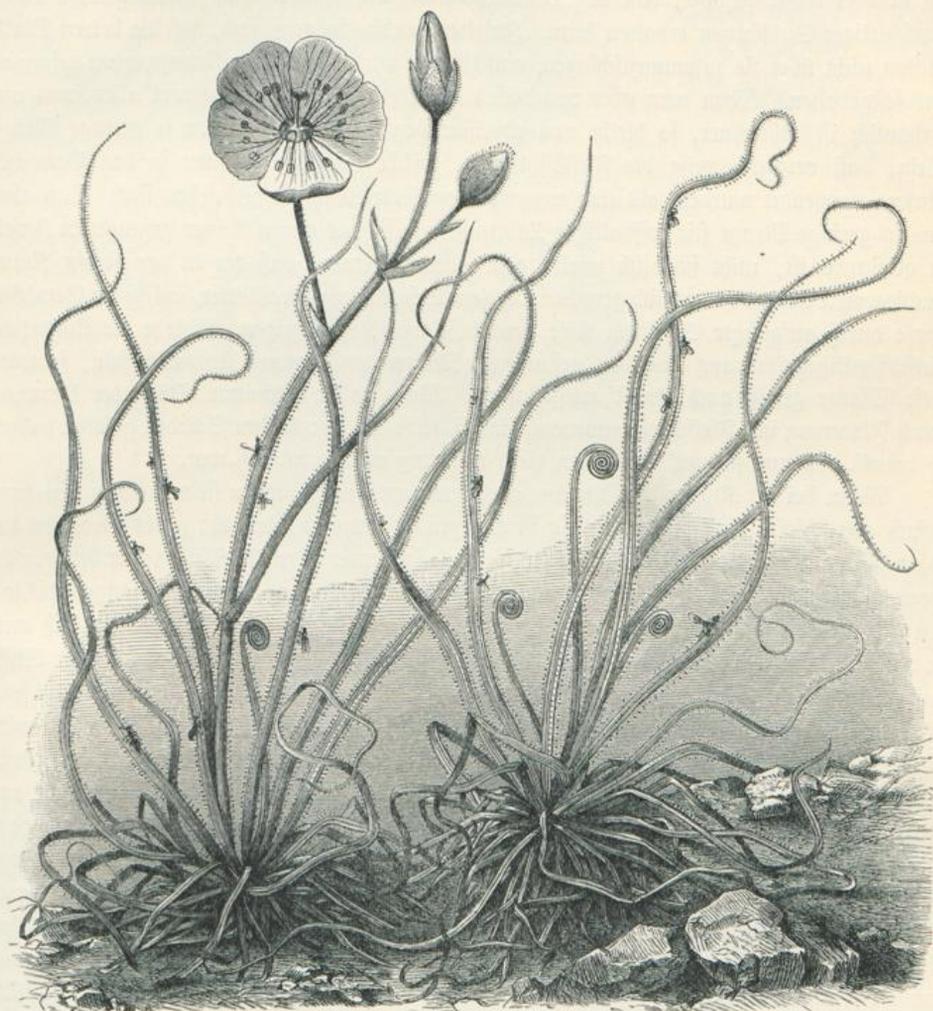
Außer diesen mit freiem Auge deutlich erkennbaren Drüsen, die von ungleichlangen Stielen getragen werden, finden sich auch noch sehr kleine, stiellose, sitzende, farblose Drüsen, die nur dann eine saure Flüssigkeit ausscheiden, wenn sie mit einem stickstoffhaltigen tierischen Körper in Berührung kommen, während das tropfenartige Sekret an den gestielten Drüsen auch ohne eine solche Berührung ausgeschieden wird. Dieses Sekret ist sauer und ungemain klebrig; sehr eigentümlich ist, daß es den anstreifenden fremden Körpern sofort anhängt und sich mit diesen fest verklebt, aber sich sehr leicht von der Drüse selbst ablöst. Kommt ein Insekt auf das Taubblatt angeflogen, so verkleben augenblicklich Beine, Hinterleib und Flügel mit dem berührten Tropfen; das Insekt wird aber von der Drüse, welche diesen Tropfen abgefordert hatte, nicht festgehalten, sondern kann sich weiterbewegen und zieht dadurch den Tropfen von der Drüse ab. Bei seinen Bewegungen kommt es noch mit weiteren Tropfen in Berührung; auch diese trennen sich von ihren Drüsen, und so ist das Insekt in kürzester Zeit mit den Sekreten zahlreicher Drüsen beklebt und umflossen, vermag nicht mehr weiter vorwärts zu kriechen, ersticht, sinkt zu den tieferstehenden stiellosen Drüsen der Blattfläche hinab, und nun wird durch Vermittelung der Ausscheidungen der Drüsen alles, was löslich ist, aus dem Leichnam aufgelöst und aufgelöset.

Die ihres tropfenförmigen Sekrets beraubten Drüsen ersetzen dieses in kürzester Zeit. Auch ist die Menge der flüssigen sauren Ausscheidung ungemain reichlich, und so darf es nicht überraschen, wenn man das Taubblatt gleichzeitig mit den Resten ausgefaugter, mit den Leibern eingeschleimter, verendeter und mit den noch zappelnden Körpern eben angeflogener und angeklebter Insekten besetzt findet. Oft kleben an den Blättern eines einzigen Stockes Hunderte von kleinen Tieren, und selbst derjenige, der sich nicht weiter um die Pflanzenwelt kümmert, wird aufmerksam, wenn er diese Gewächse sieht, an deren Blättern wie an Leimspindeln zahlreiche Insekten angeheftet sind. In der Gegend von Oporto, wo das Taubblatt häufig wächst, benutzen die Bauern diese Pflanze auch ähnlich wie Leimspindeln; sie hängen sie in ihren Stuben auf, wonach zahlreiche der lästigen Fliegen an ihnen kleben bleiben und ihren Tod finden.

Es sei, um Irrtümer zu verhüten, gleich darauf aufmerksam gemacht, daß, ähnlich, wenn auch weniger auffallend wie das Taubblatt, noch zahlreiche andere Pflanzen Klebestoff ausscheiden, an dem Insekten festkleben, durch Vermittelung der den Blättern aufsitzen den sezernierenden Drüsen, so zahlreiche Primeln und Steinbreche (z. B. *Primula viscosa*, *villosa*, und *hirsuta*, *Saxifraga luteo-viridis*, *bulbifera* und *tridactylites*), dann Nelken- und Kaperngewächse, welche im Sande der Steppen wachsen (z. B. *Saponaria viscosa*, *Silene viscosa*, *Cleome ornithopodioides*, *Bouchea coluteoides*). Es wäre aber irrtümlich, zu glauben, daß überall dort, wo klebrige Überzüge an Blättern und Stengeln vorkommen, notwendig auch eine Lösung und Verdauung der an diesen klebrigen Teilen hängengebliebenen Insekten und anderer Tiere stattfindet. Vielfach sind derlei den Leimspindeln vergleichbare Gebilde Schutzmittel der honigführenden Blüten gegen unwillkommene Gäste aus der Insektenwelt, wie später in ausführlicher Weise auseinandergesetzt werden wird.

Wiederholt wurde die Frage aufgeworfen, ob denn das Fangen und Verdauen von Insekten für die hier in langer Reihenfolge vorgeführten Pflanzen wirklich ein Vorteil und

nicht vielmehr ein Nachteil sei. Gärtner, welche die *Dionaea* im Gewächshaus kultivierten, machten die Beobachtung, daß jene Stöcke, von denen Insekten ferngehalten wurden, zum wenigsten ebensogut gediehen wie solche, deren Blätter mit Fleischstückchen und dergleichen belegt oder, um den üblich gewordenen Ausdruck zu gebrauchen, mit Fleisch gefüttert worden



Das Taubblatt (*Drosophyllum Lusitanicum*). (Zu S. 331.)

waren. Auch hatte man gefunden, daß ein Blatt nicht mehr als drei Fütterungen verträgt, ja daß manchmal schon nach einmaligem Verdauen eines Fleischstückchens das Blatt den Eindruck machte, als habe es infolge dieser Mahlzeit Schaden gelitten. Es dauert nämlich ziemlich lange, bis die Blätter, welche einen etwas größeren eierartigen Körper verdaut haben, wieder ihre volle Reizbarkeit erlangen. Sie werden manchmal sogar welk und sterben ab. Hat man Käse auf die *Dionaea* gelegt, so klappt das Blatt zwar über ihm zusammen, und es wird die Lösung des Käses eingeleitet; aber ehe diese sich ganz vollzogen hat, ist das

Blatt braun geworden und zugrunde gegangen. Wenn aber nach jedesmaliger Mahlzeit die *Dionaea* ein Blatt einbüßen müßte, so wäre das für sie gewiß sehr unvorteilhaft.

Diesen Bedenken gegenüber ist vor allem zu bemerken, daß sich die Nahrungsaufnahme in der freien Natur wesentlich anders vollzieht als bei künstlicher Fütterung im Gewächshaus. Es ist dort dafür gesorgt, daß das *Dionaea*-Blatt auf einmal keine zu ausgiebige Dosis eiweißartiger Substanzen erhalten kann. Insekten, welche so groß sind, daß die beiden Blathälften nicht über sie zusammenschlagen, entchlüpfen wieder, und nur kleine werden gefangen und festgehalten. Wenn man aber von diesen die Chitinhülle und überhaupt alles, was unverdaulich ist, abrechnet, so bleibt von eiweißartigen Verbindungen eine so geringe Menge übrig, daß vergleichsweise die Fleischstückchen, welche bei Experimenten in den Gewächshäusern verwendet wurden, als eine ungemein opulente Mahlzeit anzusehen sind. Daß aber eine so geringe Menge stickstoffhaltiger Nahrung, wie sie aus einem kleinen gefangenen Insekt zu gewinnen ist, nicht schädlich wirkt, geht daraus hervor, daß die in der freien Natur wachsenden *Dionaea* vortrefflich gedeihen und jene Schwärzung der Blätter, welche im Gewächshause durch aufgelegte Stückchen Käse veranlaßt wird, nicht zeigen. Würde die Aufnahme stickstoffhaltiger Nahrung aus den gefangenen Tieren der *Dionaea* nachteilig sein, so wäre diese Pflanze gewiß auch längst ausgestorben. Wenn daher kultivierte Stöcke der *Dionaea* durch Fütterung mit Fleisch, geronnenem Eiweiß, Käse und dergleichen Schaden gelitten haben, so beweist das nur so viel, daß ihnen diese Nahrung nicht zuträglich war.

Wenn bei der Kultur die *Dionaea* auch dann gut gedeiht, wenn sie von allem Insektenbesuch abgeschlossen kultiviert wird, so ist dagegen zu erinnern, daß ein gutes Gedeihen der *Dionaea* gerade so wie der *Drosera*, *Pinguicula* usw. unter allen Umständen nur denkbar ist, wenn auf irgendeine Weise der zur Bildung des Protoplasmas unumgänglich nötige Stickstoff den betreffenden Pflanzenstöcken zugeführt wird. Und so kann man sich vorstellen, daß auch in der Natur Insektivoren gelegentlich ohne Insektenfang gedeihen, wenn sie eine andere Stickstoffquelle finden. Woher sie denselben nehmen, wird nach dem Standorte verschieden sein. Wurzeln sie in dem tiefen Rasen des Torfmooses in einem weiten, ebenen Moore, so wird die Zufuhr von Stickstoff sowohl aus dem Boden als auch aus der Luft äußerst beschränkt, ja wahrscheinlich ungenügend sein, und im letzteren Fall ist dann die Nahrung, welche aus den Leichen gefangener Insekten bezogen wird, nicht nur nützlich und vorteilhaft, sondern sogar notwendig. Sind diese Pflanzen dagegen in der Lage, an der Stelle, wo sie spontan oder gepflanzt aufwachsen, ihren Bedarf an Stickstoff aus dem Boden zu gewinnen, so können sie der Stickstoffquelle, welche sich ihnen aus gefangenen Insekten erschließen würde, ohne Nachteil ganz entraten. Es ist aber beachtenswert, daß tierfangende Pflanzen im Freien immer nur an solchen Stellen wachsen, wo es mit der Stickstoffnahrung sehr schlecht bestellt ist. Die Mehrzahl findet sich in Tümpeln, welche von Grundwasser gespeist werden, das seinen Weg durch Torfschichten nimmt, oder im schwammigen Torfe selbst oder auch in dem Rasen der Torfmoose. Andere wurzeln in den tiefen Spalten des Gesteins an den Gehängen felsiger Berge und wieder andere auf dem Sande der Steppen. Das Wasser, welches an solchen Standorten durch die Saugzellen aufgenommen werden kann, ist jedenfalls sehr arm an stickstoffhaltigen Verbindungen. Unter solchen Umständen aber ist dann die Gewinnung von Stickstoff aus eiweißartigen Verbindungen verendeter Tiere jedenfalls von Vorteil.

Der Sinn des Insektenfanges und des merkwürdigen Verdauungsvorganges ist also der, daß die Insektivoren auf diese Weise ihre stickstoffhaltige Nahrung gewinnen, deren Aufnahme

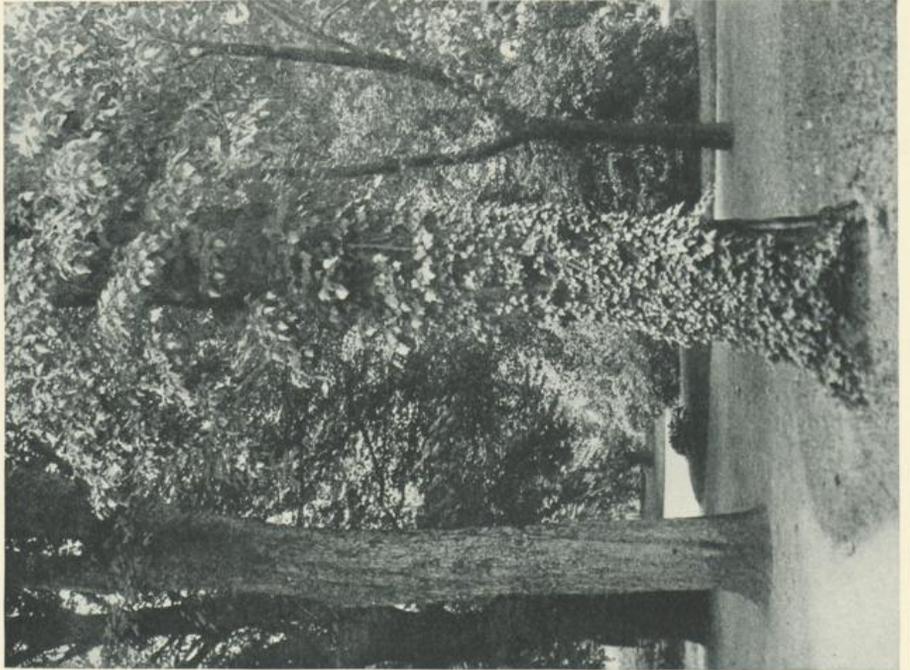


1. *Raphidophora decursiva* bei Darjeeling (Himalaya). Nach Photographie. (Zu S. 335.)



2. Weinrebe (*Vitis vulpina*) im Gießener Botanischen Garten, auf einen Rhorn kletternd.

Nach Photographie. (Zu S. 336.)



3. Efeu (*Hedera helix*) an einer Lärche des Gießener Botan. Gartens hinaufkletternd.

Nach Photographie. (Zu S. 335.)

durch die Wurzeln ihnen häufig erschwert und unmöglich gemacht ist. Die meisten Insektivoren wachsen, wie bereits oben erwähnt, auf den Torfmoosen der Torfmoore. Bei dem langsamen Absterben der Moorpflanzen von untenher entwickelt sich meistens Schwefelwasserstoff, der den Wurzeln sehr schädlich ist und die Entwicklung eines kräftigen Wurzelsystems bei vielen Insektivoren verhindert. Aber selbst dann, wenn sie reichlicher Wurzeln bildeten, leiden die Tierfänger wegen der Armut des Untergrundes an Nitraten, die schon von den Torfmoosen aufgezehrt werden, an Stickstoffmangel. Den Hunger nach diesem unentbehrlichen Element befriedigen sie auf die sonst für Pflanzen ungewöhnliche Art des Insektenfanges. Erstaunlich bleibt, daß sich alle die mannigfaltigen Gruben, Fallen, Leimspindeln und Reizbarkeiten bei den Insektivoren zu diesem Zwecke haben ausbilden können.

2. Die Schmarotzerpflanzen.

Schmarotzer und Scheinschmarotzer.

Die Alten verstanden unter Parasiten oder Schmarotzern Leute, welche sich ungeladen bei den Reichen einstellten, um dort eine freie Mahlzeit zu erhalten. Für Pflanzen wurde diese Bezeichnung zum erstenmal von dem Florentiner Botaniker des 18. Jahrhunderts, Micheli, in dem Werke „De Orobanche“ (1720) gebraucht, wo unter anderem auch mancherlei „plantae secundariae aut parasiticae“ besprochen werden. Micheli begriff darunter Gewächse, welche lebenden Pflanzen oder Tieren organische Verbindungen entnehmen und sich die Arbeit ersparen, selbst solche Verbindungen aus Wasser, Nährsalzen und Kohlensäure der Luft zu bilden. Wenn an dieser Begrenzung des Begriffes Parasiten oder Schmarotzer festgehalten wird, so können zahlreiche Gewächse, die nur darum Schmarotzer genannt wurden, weil sie sich auf lebenden Bäumen angesiedelt haben und dort trefflich gedeihen, auf diesen Namen keinen Anspruch machen, da sie diese Unterlagen der Nahrungssäfte nicht berauben, und es empfiehlt sich, für solche Gewächse den Namen Scheinschmarotzer oder, wie man häufiger sagt, Epiphyten, in Anwendung zu bringen. Dementsprechend dürfen z. B. die so häufig für Schmarotzer gehaltenen schön blühenden Orchideen und Bromeliaceen, welche in den Tropen auf Baumstämmen wachsen (s. die Tafel „Tropische Scheinschmarotzer“ bei S. 161), nicht als Schmarotzer, sondern nur als Scheinschmarotzer angesprochen werden. Von den Kletter- und Schlingpflanzen, die sich an die Stämme und Äste der Bäume anklammern, dieselben mit Schlingen umwinden oder mit einem Gitterwerk aus Wurzeln und Zweigen umstricken, gilt dasselbe. So z. B. ist die mit ihren Stengeln und Kletterwurzeln die Baumstrünke im Urwalde des östlichen Himalaja umstrickende und in den Schilderungen dieser Wälder gewöhnlich als Schmarotzer bezeichnete Aroidee *Raphidophora decursiva* (s. die Abbildung auf der beigehefteten Tafel) keineswegs ein Schmarotzer, sondern nur ein Epiphyt.

In unserer gemäßigten Zone bilden solche Erscheinungen eine Ausnahme. Wir haben den Efeu, *Hedera Helix*, der mit seinen dünnen Klammerwurzeln sich an Unterlagen festheftet, und wie die Abbildung auf der beigehefteten Tafel zeigt, oft auch hohe Baumstämme ganz mit seinem immergrünen Laube einhüllt, während die Waldrebe, *Clematis*, mit ihren Blattstielen klettert. Aber diese Pflanzen schädigen die Bäume, an denen sie sich festhalten, nicht, da sie sehr selten die Kronen überwachsen, vielmehr in deren Schatten gedeihen.

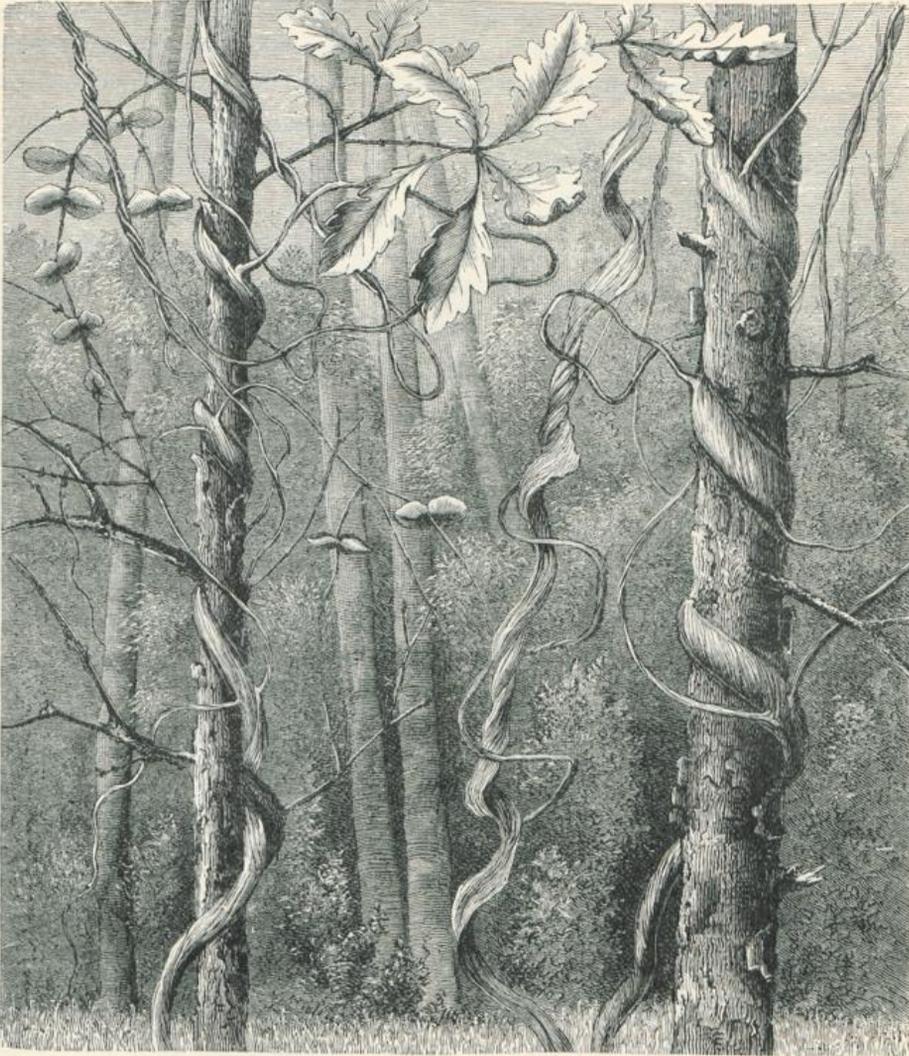
Mächtig in ihrer Entwicklung sind die eigentlichen Lianen der Tropen, die nicht mit Wurzeln klettern, sondern deren holzige, windende, durch eine merkwürdige Anatomie ausgezeichnete Stämme durch krallenförmige Haken oder verholzende Ranken sich bei ihrem Wachstum in den Kronen der Urwaldbäume festheften. Sie können ganz ungewöhnliche Längen erreichen, namentlich die Kletterpalmen (*Calamus*, *Chamaedorea* und andere).

In der gemäßigten Zone könnte man nur die *Vitis*-Arten als Lianen anführen, die in nordamerikanischen Wäldern, wie auch der wilde Wein (*Ampelopsis*), sehr hoch klettern. Unsere Abbildung auf der beigehefteten Tafel zeigt einen Stock von *Vitis vulpina*, der im Botanischen Garten zu Gießen in einen Ahorn hineingewachsen ist. Unser kultivierter Weinstock wird künstlich in seiner niedrigen Form gezogen. Wenn er verwildert, nimmt er seinen natürlichen Lianenwuchs wieder auf, und man kann in den Wäldern der Rheininseln bei Ketsch unweit Speier den Weinstock in ähnlicher Weise wie auf unserer Abbildung in die Bäume hinaufklettern sehen. Dieser verwilderte Wein trägt gleichfalls Trauben, aber sie sind ungenießbar.

Unter den tropischen Lianen wurde die auf den Antillen vorkommende *Clusia rosea*, welche sich mit ihren zu einem Gitterwerke verbundenen Zweigen den Stämmen gewisser Bäume dicht anschmiegt, als ein förmlicher Vampir geschildert, unter dessen Umarmungen die betreffenden Bäume den Tod fänden. Von mehreren Feigenarten wurde behauptet, daß sie sich mit ihren Stämmen und Ästen an andere Bäume anlegen, sich ihrer eigenen Rinde entäußern und infolge des Druckes, den sie ausüben, auch die Rinde des befallenen Nachbarn zum Absterben bringen. Ihr junges Holz sollte dann mit dem jungen Holze der überfallenen Pflanzen in direkte Verbindung kommen und dadurch die Möglichkeit gegeben sein, daß den letzteren alle Säfte ausgezogen werden. Diese Angaben haben sich, wenigstens in betreff des Auszagens, nicht bestätigt. Wenn die in der Erde wurzelnden, schon zu ansehnlichen belaubten Stöcken herangewachsenen *Clusia*- und *Ficus*-Arten mit ihren verflachenden Stämmen und Ästen sich an andere Pflanzen anlegen und diese so überkleiden, daß deren Atmungsvorgang beschränkt wird, so ist das jedenfalls eine Beeinträchtigung einer der wichtigsten Lebensfunktionen der überfallenen Pflanze und kann schließlich auch deren Tod veranlassen; aber die Tötung ist dann nicht durch Auszagen der Säfte, sondern durch Erstickung herbeigeführt worden. Auch jene Schlingpflanzen, deren holzige Stengel sich an die Stämme junger Bäume anlegen, sich wie Schlangen herumwinden, dort, wo sie aufliegen, das Dickenwachstum der stützenden Stämme beschränken und schließlich in förmlichen Rinnen der Rinde eingebettet liegen, dürfen nicht als Schmarotzer aufgefaßt werden. Derartige Schlinger, die man Baumwürger genannt hat, und für welche als Beispiel die auf S. 337 abgebildete nordamerikanische *Lonicera ciliosa* aufgeführt werden mag, beschränken nur die Leitung der Bildungstoffe, welche in den grünen Laubblättern erzeugt wurden, verhindern insbesondere, daß der Stammteil unterhalb der einschnürenden Schlingen mit diesen Stoffen versehen werde, und bedingen schließlich auch das Verdorren des ganzen zur Stütze dienenden Stammes. Man kann dann sagen, daß der befallene junge Baum von ihnen erwürgt oder erdroffelt wurde, nicht aber, daß sie demselben Säfte entzogen und sich diese zu eigenem Verbrauch angeeignet hätten.

Mitunter werden auch Flechten und Mooose für Schmarotzer gehalten. Wenn sie in dichtem Schlusse die Rinde von Bäumen überziehen, können sie möglicherweise die durch bestimmte Stellen der Rinde sich vollziehende Atmung beschränken und dadurch die Entwicklung

des betreffenden Baumes schädigen, sind aber deswegen nicht als Schmarotzer anzusehen, so wenig wie manche Hutpilze, welche rasch aus dem Boden hervorstechen, gleich einer plastischen, teigigen Masse sich ausbreiten, die ihnen im Wege stehenden Gegenstände umwallen



Baumwürger (*Lonicera ciliosa*), um eine Eiche geschlungen. In der Mitte des Bildes der verwitterte Rest eines Baumwürgers. Der von ihm getödtete Stamm ist längst vermodert, und die vermoderten Teile sind aus den Schlingen des Baumwürgers herausgefallen. (Zu S. 336.)

und die umwallten lebenden Pflanzen, Grashalme, Heidelbeersträucher und dergleichen, schließlich ersticken. Noch viel weniger gilt das endlich von jenen kleinen Tangen und Florideen, welche den Verzweigungen großer Meeresalgen aufsitzen, sowie von den unzähligen Diatomeen, welche sowohl die im salzigen als auch die im süßen Wasser lebenden Pflanzen überziehen. In stillen Meeresbuchten ist es keine Seltenheit, auf großen Tangen kleinere Tange, auf diesen

Florideen und auf diesen wieder winzige kieselchalige Diatomeen anhaften zu sehen; ja, auch im Süßwasser, so z. B. in reißenden, kalten Gebirgsbächen, haben sich auf den schwarzgrünen Fäden der Lemanea kleine Räschen von *Chantransia* oder *Batrachospermum* und auf diesen wieder Diatomeen als Epiphyten entwickelt. Besonders auffallend ist eine dieser braunen Diatomeen, *Cocconeis Pediculus*, die oft dugendweise den grünen Algenfäden aufsitzt. Wenn man diese Verbindung sieht, so ist allerdings der Gedanke naheliegend, daß die *Cocconeis* die grünen Algenzellen ausfaugt; dennoch ist diese Annahme nicht begründet, und wenn die mit *Cocconeis* besetzte Alge durch ihren Besatz überhaupt einen Nachteil hat, so liegt er höchstens darin, daß sie in der Aufnahme von Nährstoffen aus dem umspülenden Wasser und im Gasaustausch beschränkt wird.

Die Epiphyten benutzen die Pflanze, welche sie besiedeln, nur als Stütze. Da die oben besprochenen Waldbewohner im Boden wurzeln, so zeigen sie auch in bezug auf ihre Wasseraufnahme und die Herbeischaffung der Bodensalze keine Besonderheiten. Anders liegen die Verhältnisse bei manchen Epiphyten, welche hoch über dem Boden ihren Sitz auf Baumstämmen oder Ästen aufgeschlagen haben. Das Streben, in die Höhe zu kommen, ist bedingt durch den Mangel an Licht, der zumal im tropischen Urwalde herrscht, aber während die auf S. 337 abgebildeten Epiphyten auf ihre Stützbäume hinaufklettern, schlagen die sitzenden Epiphyten ihren Wohnort dauernd in luftiger Höhe auf. Ihre Samen sind sehr leicht oder mit Flug- einrichtungen versehen, so daß sie bei dem Öffnen der Früchte gar nicht auf den Boden fallen, sondern, vom Winde fortgetragen, auf den Ästen der Baumkronen abgesetzt werden. Früher ist schon geschildert worden, wie solche vom Boden getrennte Orchideen, Bromeliaceen, Aroideen ihren Wasserbedarf durch Auffangen des Regens decken. Aber der Boden liefert der Pflanze außer dem Wasser auch Nährsalze, und diese können auch die Epiphyten nicht entbehren. Die vermodernde Borke der Bäume liefert ihnen keine nennenswerte Zufuhr, und so haben denn manche von diesen tropischen Epiphyten merkwürdige Einrichtungen erzeugt, sich den fehlenden Boden zu verschaffen.

In den kälteren Gegenden sind es fast ausschließlich Laub- und Lebermoose, welche die Borke der Bäume besiedeln und besonders die Wetterseite der Stämme und Äste von alten Eichen, Pappeln und Eichen mit grünen Fellen ganz dicht überziehen; in tropischen Gebieten dagegen bildet die rissige Borke der Bäume den Vereinigungspunkt nicht nur für Laub- und Lebermoose und moosähnliche Bärlappe, sondern auch noch für ein ganzes Heer von Farnen und prächtigen Blütenpflanzen. Namentlich die Zahl kleiner Farne, welche mit ihren Wurzelstöcken in den Sprüngen der Borke nisten, ist so groß, daß alte Baumstrünke bisweilen in einen förmlichen Mantel aus Farnwedeln eingehüllt erscheinen. Von Blütenpflanzen sind es besonders Aroideen, Orchideen, Bromeliaceen, Dorstenien, Begonien, ja selbst Kakteen, namentlich Arten der Gattungen *Cereus* und *Rhipsalis*, welche in den Humus, der langsam aus der rissigen Borke durch Verwitterung entsteht, ihre Wurzeln senken. Die Bromeliaceen schmücken mit ihren Rosetten meistens die Gabelungen der Stämme, während die Aroideen und *Rhipsalideen* vorwiegend auf den Ästen der mächtigen Bäume angewurzelt sind.

Nicht selten sieht man an den Stellen, wo sich Epiphyten in den Ritzen der Borke angesiedelt haben, Wülste und Ballen aus Humus, zu deren Entstehung nicht nur die verwesende Borke, sondern auch die auf ihr angesiedelten Pflanzen einen Beitrag geliefert haben. Was von Wurzeln, Stengeln und Blättern der Ansiedler alljährlich abstirbt und in Humus umgewandelt wird, erhält sich eben an der Ansiedelungsstelle und wird von dem Geslechte der

neuen Wurzel- und Stengelbildungen festgehalten. Wenn das Jahrzehnte hindurch fortgeht, so entwickeln sich umfangreiche Rasen der Epiphyten. Diese wurzeln dann in einer Humusmasse, welche nicht nur die als erste Ansiedelungsstelle benutzte Ritze erfüllt, sondern als ein Wulst oder Ballen die angrenzende Borke überwallt. Selbstverständlich können auch Blätter und Zweige, die sich von benachbarten Bäumen ablösen, durch den Wind in den Bereich dieser Rasen gelangen, dort stranden, zurückgehalten werden, verwesen und die Humusmasse noch bedeutend vermehren. Manche der Borkenbewohner haben zum Festhalten von Humus



Platycerium alaicorne (nach einer von Selleny nach der Natur ausgeführten Zeichnung).

nun ganz besonders merkwürdige Vorrichtungen entwickelt, von denen einige hier in Kürze geschildert sein mögen. Das in Java verbreitete *Asplenium Nidus*, der Vogelnest-Farn, entspricht tatsächlich seinem Namen. Seine Blätter, welche die Länge von 3 m erreichen können, bilden eine mächtige, nach der Mitte zu vertiefte Rosette und stellen einen großen Trichter dar, in dem alles, was von den Bäumen herabfällt, sich sammelt, vermodert und so einen humosen Boden bildet, in den dann die Wurzeln hineinwachsen. Auch Wasser kann der große Trichter natürlich auffangen. Durch diese Sammelvorrichtung ist es dem Farn ermöglicht, sogar auf den dünnen Lianenstämmen zu keimen, die sich wie Tau durch den Wald ziehen und die der Epiphyt zu prächtigen Girlanden macht. Auch *Polypodium Heracleum* und *quercifolium* sind Humussammler. Der in Australien heimische und auf der Borke alter Bäume wachsende Farn *Platycerium alaicorne* (s. obenstehende Abbildung), dem sich noch mehrere nahe verwandte,

22*

in den Tropen Asiens und Afrikas verbreitete Arten anschließen, entwickelt Blattformen von zweierlei Art. Die einen besitzen einen breiten Grund, mit dem sie sich fest um den Baumstamm, an dem der Epiphyt sitzt, anlegen. Der obere Teil, der in gabelige Lappen geteilt ist, sieht tütenförmig vom Stamme ab und bildet eine geräumige Nische. Nach unten hängen dagegen die wie ein Renntiergeweih verzweigten sporentragenden Blätter. Da die absterbenden Nischenblätter zwar eintrocknen, aber stehen bleiben, so ist die Nische bald durch mehrere Lagen befestigt und kann so ansehnliche Humusmassen aufnehmen, daß ein solches gefülltes *Platy-cerium* einen Zentner und mehr wiegen kann. Sonst könnten die Pflanzen auch nicht so ansehnlich werden. In der gewaltigen Humusmenge finden aber die Wurzeln dieser Farne für viele Jahre Nährstoffe für ihre mächtigen Blätter. Die Entwicklung dieser Farne ist trotz der Schwierigkeiten, die ihrer Existenz entgegenzutreten scheinen, so üppig, daß sie oft Kolonien bilden, die etagenweise den ganzen Stamm bedecken.

Übrigens bildet nicht nur der Humus, der sich auf die oben geschilderte Weise über der Borke aufgespeichert hat, sondern auch die Borke selbst, d. h. die zwar abgestorbene, aber noch nicht zerbröckelte und zu Staub und Moder zerfallene Rindenschicht, den Nährboden für eine ganze Reihe von Pflanzen aus den verschiedensten Abteilungen. Manche Pilze sowie auch viele Flechten drängen sich tief in die kompakte Borke ein und verzweigen sich mit ihren Hyphenfäden zwischen deren abgestorbenen Zellen. Andere Gewächse durchdringen zwar nicht die Substanz der Borke, legen sich aber oberflächlich an dieselbe an und verwachsen so fest mit ihr, daß bei einem Versuche, sie von der Unterlage abzuheben, wohl ein Teil der Unterlage abgetrennt wird und die angewachsenen Zellschichten zerreißen, aber nimmermehr eine Ablösung erfolgt. Wenn man z. B. ein Näschen der die Borke besiedelnden Laub- und Lebermoose gewaltsam entfernt, so sieht man dort, wo die Rhizoiden von den Stämmchen ausgehen, regelmäßig kleine Bruchstücke der Borke mitgerissen. Ähnlich verhält es sich mit den Wurzeln der tropischen Orchideen, die mit der Borke der von ihnen bewohnten Baumstämme verwachsen. Die Mehrzahl dieser baumbewohnenden Orchideen nistet allerdings in den mit Humus erfüllten Klüften der Borke, aber ein kleiner Teil entwickelt auch Wurzeln, welche eine bandförmige Gestalt besitzen, und die mit einer ihrer Breitseiten an der Borke festwachsen. Am auffallendsten ist diese Erscheinung an der prächtigen, auf den Philippinen heimischen *Phalaenopsis Schilleriana* zu sehen. Die Wurzeln dieses Epiphyten sind etwa 1 cm breit, starr, zweischneidig zusammengedrückt, an der vom Baumstamm abgewendeten Seite flach gewölbt, geförnt, buntfarbig und metallisch schillernd wie der Schwanz einer Eidechse oder eines Chamäleons; die dem Baumstamme zugewendete Seite ist abgeplattet und ohne metallischen Schimmer. Dicht hinter der fortwachsenden Spitze findet sich an der dem Baumstamme zugewendeten Seite ein weißlicher Pelz von dicht gedrängten, kurzen Saugzellen. Kommt nun die Spitze einer solchen Wurzel mit der Borke in Berührung, so verwächst sie mittels der Saugzellen so fest mit der Unterlage, daß man bei kräftigem Drucke viel eher oberflächliche Stücke der Borke als das Wurzelgebilde selbst ablöst. Die Wurzel, einmal angewachsen, verflacht sich noch mehr, wird bandartig und bildet fortsprossend und fortkriechend Streifen, welche schließlich die Länge von $1\frac{1}{2}$ m erreichen. Ein mit diesen langen, metallisch schillernden Bändern besetzter Baumstrunk bietet einen Anblick, der selbst im Reiche der Orchideenwelt, die bekanntlich des Bizarren genugjam bietet, noch überraschend wirkt. Bei anderen Arten tropischer Orchideen, so z. B. an dem nebenstehend abgebildeten *Sarcanthus rostratus*, sind die Wurzeln nicht schon von Anfang an verflacht, sondern werden es erst dann, wenn sie

mit der Borke in Berührung kommen. Häufig sieht man eine der Wurzeln als einen rundlichen Strang aus dem Stocf entspringen, sich an die Borke anlegen und zu einem Bande werden, dann sich wieder abheben und neuerdings die Gestalt eines Stranges annehmen, wie es die



Bandförmig werdende Saftwurzeln einer tropischen Orchidee (*Sarcanthus rostratus*).

Abbildung getreulich zur Anschauung bringt. Auch hier ist die Verbindung der Bänder mit der Borke eine äußerst feste, und es hat eine vollständige Verwachsung stattgefunden.

Dort, wo sich in der Nähe von Baumgruppen Felswände erheben, ist es eine sehr gewöhnliche Erscheinung, daß diese Felswände und die Borke der Bäume teilweise dieselben Pflanzenarten beherbergen. Für diejenigen Arten, welche aus dem Humus ihre Nahrung

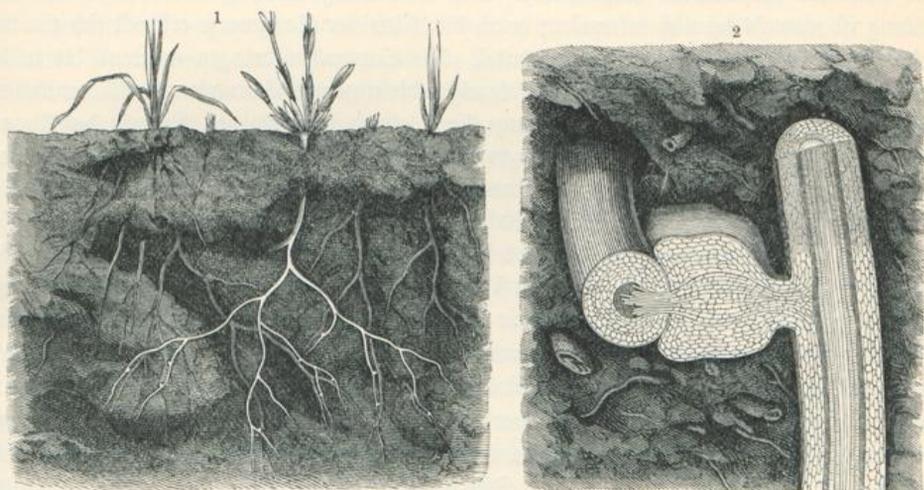
saugen, ist die Erklärung dieser Erscheinung nicht schwer zu geben. Die zerklüftete Felswand ist in gewisser Beziehung der rissigen Baumborke zu vergleichen. Die Klüfte der Felsen haben sich im Laufe der Zeit mit dunklem Humus gefüllt, und Pflanzen, für die mit Rücksicht auf die Gestalt ihres Laubes, ihrer Blüten und Früchte die Ritzen einer Felswand geeignet sind, können sich in solchem Humus ebensogut einnisten, wie in den humusgefüllten Ritzen der Borke, ja sie werden sogar an solchen Stellen in einer Beziehung noch günstiger gestellt sein. Während nämlich der Humus in der Baumborke in längeren trockenen Perioden des Jahres ganz ausdort, weil aus dem Holze des betreffenden Baumes, auch wenn es saftreich ist, dennoch kein Wasser an die Borke abgegeben wird, kann bei den tiefgehenden Klüften auch dann, wenn die oberflächlichen Schichten des die Ritzen erfüllenden Humus Wasser an die Luft abgeben, immer wieder ein kleiner Ersatz aus den tieferen, niemals ganz austrocknenden Regionen stattfinden. Auch können die im Humus der Felsklüfte wachsenden Pflanzen ihre Wurzeln in weit tiefere Schichten hinabsenden, als das bei der Borke möglich ist. Darum zeigen auch die mit Humus gefüllten tiefen Sprünge der Felsen in der Regel eine reichere Flora als die viel seichterem Ritze der Borke.

Auf Grund der Kenntnisse über die Pflanzenernährung könnte man schon aus dem reichlichen Chlorophyllgehalte dieser Epiphyten schließen wollen, daß sie keine wahren Schmarotzer sind. Das ist zwar richtig, aber die Insektivoren haben gelehrt, daß der Satz: Chlorophyllpflanzen nehmen keine organischen Verbindungen aus ihrer Umgebung auf, allgemein nicht bestehen kann. Wir werden nun noch andere Fälle kennen lernen, welche zeigen, daß anscheinend ganz selbständige, mit chlorophyllhaltigen normalen Blättern begabte Pflanzen noch einen Schritt weiter gehen wie die Insektivoren und von voller Selbständigkeit sogar zum Parasitismus übergegangen sind, der schon ein höheres Maß von Abhängigkeit bedeutet wie der Insektenfang. Solche Pflanzen sind die grünbelaubten Schmarotzer.

Die grünbelaubten Schmarotzer.

Auf unseren Wiesen, in Wäldern und auf Alpenmatten wächst in dem buntgemischten, von anderen Pflanzen gebildeten Rasen eine Anzahl echter Wurzelschmarotzer, denen man ihre Lebensweise nicht ansieht. Sie haben gut ausgebildete grüne Blätter, zeichnen sich durch reizende Blüten aus, und nur wenn man die Pflanzen mit ihren Wurzeln aushebt, erkennt man an ihrer Verwachsung mit den Wurzeln anderer Pflanzen ihr Schmarotzertum genauer. Recht merkwürdig ist es, daß nicht einzelne Glieder zahlloser Pflanzenfamilien zu diesem Parasitismus übergegangen sind, sondern daß ganze Familien, Unterfamilien und Gattungen sich dadurch von ihren Verwandten getrennt haben. So gehören zu den grünen Parasiten etwa hundert Santalazeen, vorzüglich aus der Gattung Bergflachs (*Thesium*), und ungefähr 500 Rhinanthazeen. Aus dieser letzteren Familie sind es besonders die Arten der Gattungen Augentrost (*Euphrasia*), Klappertopf (*Alectorolophus*), Wachtelweizen (*Melampyrum*), Läusekraut (*Pedicularis*), dann Bartschia, *Tozzia*, *Trixago*, *Odontites* usw. Die umfangreichsten Gattungen sind *Euphrasia* und *Pedicularis*, deren Arten der Mehrzahl nach auf der nördlichen Hemisphäre leben und dort in einer außerordentlichen Mannigfaltigkeit, vorzüglich in der arktischen Zone und in den Hochgebirgen des Himalaja, im Altai und Kaukasus, in den Alpen und Pyrenäen, die Grasmatte mit ihren schönen Blüten schmücken.

In den ersten Entwicklungszuständen ist an allen diesen Pflanzen von dem Schmarogertume nicht viel zu sehen. Die Samen keimen in der Erde, wachsen dort ohne Unterstützung einer Wirtspflanze zur Keimpflanze heran, und erst die Wurzeln der Keimpflanzen legen sich mit Saugwarzen an die Wurzeln anderer Pflanzen an. Der Keimling treibt binnen einer Woche eine lange Hauptwurzel, von der ein halbes Duzend Seitenwurzeln unter rechtem Winkel abzweigt, ohne daß sogleich eine Anheftung an eine Wirtspflanze zu bemerken wäre (s. Abbildung, S. 357, Fig. 7—9). Die Saugwarzen bilden sich immer erst dann aus, wenn die Wurzeläste schon eine Länge von 12—24 mm erreicht haben, und auch nur dann, wenn sie mit anderen lebenden, ihnen zuzugenden Pflanzen in Berührung kommen, was meistens geschieht, da die Wurzeläste des Schmarogers zahlreich sind, nach allen Richtungen von der Hauptwurzel ausgesendet werden und dabei fast unvermeidlich das Wurzelwerk anderer



Alpen-Bergflaß (*Thesium alpinum*): 1 Wurzel mit Saugwarzen in natürlicher Größe; 2 ein Wurzelstück mit Saugwarze, der Wurzel einer Wirtspflanze angelegt, im Durchschnitt, 35fach vergrößert.

Pflanzen streifen müssen. Während die Mehrzahl der chlorophyllfreien Parasiten einer oder sehr wenigen Wirtspflanzen, wie man die Nährpflanzen der Parasiten allgemein nennt, angepasst sind, sind die grünen Schmaroger nicht auf bestimmte Pflanzen angewiesen, sie können z. B. auf einer Wiese oder im Walde die aller verschiedensten Gräser, Nelkenarten, *Veronica*, *Oxalis*, *Capsella Bursa pastoris*, Sträucher und Bäume befallen.

Verhältnismäßig langsam entwickelt sich die Keimpflanze der ausdauernden *Thesium*-Arten. Sie erreicht im ersten Jahre die Länge von 3—4 cm, senkt sich wie ein Pfahl senkrecht in die Erde ein und bildet einige Ästchen aus, die sich aber erst mehrere Wochen nach der Keimung an die Wurzeln anderer Pflanzen mit Saugwarzen anheften. Diese Saugwarzen sind bei allen *Thesium*-Arten verhältnismäßig groß und fallen auch sogleich in die Augen, wenn man die Wurzeln eines Stockes sorgfältig von der Erde entblößt. Man erkennt sie dann, wie in obenstehender Abbildung, Fig. 1, zu sehen ist, als weiße Knöpfchen, die sich von der dunkeln Erde deutlich abheben und stets seitlich von den Wurzelästen ausgehen. An ihrer Ursprungsstelle sind sie ringsum immer deutlich eingeschnürt. Manchmal macht diese eingeschnürte Stelle den Eindruck eines kurzen Stielchens, an dem ein Knopf sitzt. Der

knopfförmige Teil der Saugwarzen gliedert sich in einen Kern und in eine vielzellige, rindenartige Umhüllung. Diese rindenförmige, zellige Masse legt sich an die angefallene Wurzel der Wirtspflanze nicht nur an einem Punkt an, sondern breitet sich über dieselbe wie eine plastische Masse aus und umwallt wulstförmig etwa den vierten oder dritten Teil ihres Umfanges (s. S. 343, Fig. 2), ohne aber in die Substanz der Nährwurzel selbst einzudringen. Im Kern finden sich zwei Stränge oder Gefäßbündel und zwischen diesen reihenweise geordnete kleine Zellen, aus denen dort, wo sich die Saugwarze der Nährwurzel zuerst anlegt, Saugzellen hervorgehen. Diese wachsen über die rindenartige Umhüllung des Kernes hinaus, durchbohren die Rinde des Wirtes, dringen in den zentralen Holzkörper der befallenen Wurzel ein und laufen dort wie die Haare eines trockenen Pinsels auseinander.

Die Saugwarzen der grünbelaubten Rhinanthazeen sind dagegen an der Basis gar nicht oder doch nur unbedeutend eingeschnürt. Eine Gliederung in Kern und rindenartige Umhüllung ist niemals deutlich erkennbar; durch die Mitte der Saugwarze erstreckt sich ein von dickwandigen Zellen umgebenes Gefäßbündel. Die Saugzellen dringen meistens bis in die Mitte der Wurzel des Wirtes ein. Unter sich zeigen die einzelnen Gattungen der Rhinanthazeen in betreff der Saugwarzen nur sehr geringe Verschiedenheiten. An den Wurzeln des Augentrostes (*Euphrasia*) bilden die Saugwarzen winzige, rundliche Knötchen, welche der Wurzel des Wirtes nur anliegen, ohne sie zu umwallen. Das Gefäßbündel in der Mitte der Saugwarze fehlt, oder es erscheint an dessen Stelle nur ein einziges, verhältnismäßig großes Gefäß. An den Wurzeln des Klappertopfes (*Alectorolophus*) sind die Saugwarzen kugelig, ziemlich groß (bis zu 3 mm), ihr Rand ist stark gewulstet und umwallt die angefallene Wurzel des Wirtes manchmal um mehr als die Hälfte ihres Umfanges. Die Saugzellen sind kurz, aber sehr zahlreich. Mit den Saugwarzen des Klappertopfes stimmen die des Wachtelweizens (*Melampyrum*) in Form und Größe sowie auch in der Kürze der Saugzellen ganz überein, aber hier umwallt der Rand der Warzen nicht nur die Wurzel der Wirtspflanze, sondern klammert sich an dieselbe auch noch in der Weise an, daß er in sie eindringt und eine kreisförmige Furche in ihr bildet. Die Zahl der Saugwarzen ist bei den genannten Rhinanthazeen eine geringe, und sie entgehen daher auch sehr leicht der Beobachtung. Zu der Zeit, wenn diese Gewächse ihre Samen ausreifen, ist das angefallene Wurzelstück des Wirtes meist schon gebräunt, getötet und im Zerfall begriffen. Es verdorrt aber kurz darauf auch der Schmarozer selbst; seine ziemlich großen, mit reichlicher Reservenahrung für den Keimling versehenen Samen fallen aus den trockenen Kapsel Früchten aus, gelangen gewöhnlich in nicht sehr großer Entfernung von der Mutterpflanze auf den Boden und kommen dort bald wieder zum Keimen. Man kann im Herbst neben noch teilweise grünenden Wachtelweizenpflanzen, aus deren untersten Kapseln aber die Samen bereits ausgefallen sind, einzelne dieser Samen in dem feuchten Moos und Moder des Waldgrundes schon wieder keimen sehen. Wenn sie nicht sehr weit von der Mutterpflanze auf den Boden gefallen waren, so kann es auch geschehen, daß die Keimpflanzen denselben Wirt anfallen, welchem die Mutterpflanze im abgelaufenen Sommer einen Ast seiner Wurzel ausgesaugt und getötet hatte.

Fast alle diese grünbelaubten Schmarozer erscheinen in großer Individuenzahl nebeneinander. Wenn z. B. irgendwo der waldbewohnende Wachtelweizen sein Standquartier aufgeschlagen hat, so finden sich immer Bestände aus Hunderten und Tausenden von Exemplaren dieser Art beisammen. Der mit violetten Hochblättern, aus denen die gelben Blüten hervorragen, ausgestattete *Melampyrum nemorum* entwickelt dann eine überraschende Farbenpracht.

Der kleinblütige Klappertopf wächst auf den feuchten Wiesen oft so massenhaft, daß man glauben möchte, er sei hier scheffelweise ausgesäet worden. Ähnlich verhält es sich auch mit dem großblütigen, haarigen Klappertopf auf den Äckern, und nun gar der Augentrost mit seinen zahlreichen, wie der Name andeutet, niedlichen Arten, kommt in solchen Mengen in den Gebirgsgegenden vor, daß sich zur Zeit, wenn seine milchweißen, kleinen Blumen geöffnet sind, förmliche Milchstraßen durch die grünen Wiesen ziehen. Milliarden derselben stehen, in dem grasigen Boden wurzelnd, nebeneinander, und man möchte wohl glauben, daß an solchen Stellen der Graswuchs mit der Zeit Schaden leiden müßte. Diese Annahme scheint noch dazu durch die Behauptung der Landbevölkerung bestätigt zu werden, der zufolge zur Zeit, wenn der Augentrost in voller Blüte steht, der Milchtrag der Kühe sich verringert, woraus sich auch der Name Milchdieb, den diese Pflanze im Volksmunde führt, erklärt. Die Abnahme des Milchtrages steht aber gewiß mit anderen Umständen, besonders mit der allgemeinen Abnahme des Zuwachses der Gräser im beginnenden Herbst und der dadurch bedingten Verringerung der Nahrung auf den Weiden, in Zusammenhang, und der Schade, welchen der Augentrost den befallenen Wirtspflanzen durch Entziehung der Nahrung und durch Vernichtung einzelner Wurzelfasern zufügt, kann wohl kein bedeutender sein, da das Aussehen der angefallenen und der nicht angefallenen Gräser und anderer auf der Wiese wachsender Wirtspflanzen keinen merkbaren Unterschied erkennen läßt.

Über den Grad der Schädigung läßt sich so lange nur wenig vermuten, als man nicht weiß, welcher Art die Stoffe sind, welche diese Parasiten dem Wirt entziehen. Daß es nicht bloß Nährsalze, sondern organische Substanzen sind, die der Parasit dem Wirte raubt, geht daraus hervor, daß sich keiner derselben erfolgreich ohne eine Wirtspflanze künstlich ziehen läßt. Man kann aber die aufgeführten Schmarotzer in Töpfen ziehen, wenn man eine Wirtspflanze mit hineinpflanzt. Andererseits ist der Parasitismus offenbar gemäßig, da, wenn grüne Schmarotzer sehr dicht ausgesäet werden, einige die Wurzeln ihrer eigenen Genossen mit ihren Saugwarzen anfallen und es dann auch zur Blüte bringen. Sie können also ohne Parasitismus nicht vorwärtskommen, sind aber bescheiden.

Das gleiche gilt auch von den Arten des Läusekrautes (*Pedicularis*), die fast durchgehends Wiesenpflanzen sind, auf Berg- und Alpenmatten oft massenhaft vorkommen, aber eine Benachteiligung der mit ihnen gesellig wachsenden und als Wirtspflanzen benutzten Arten nicht wahrnehmen lassen. Fast alle *Pedicularis* sind übrigens im Gegensatze zu den Wachtelweizen-, Klappertopf- und Augentrostarten ausdauernd und weichen dementsprechend auch in der Saugwarzenbildung von den zuletztgenannten ab. In der Gestalt ist zwar zwischen den Saugwarzen des Wachtelweizens und jenen der *Pedicularis*-Arten kein Unterschied, wohl aber in der Größe und in betreff der Ursprungsstelle. Die Saugwarzen der ausdauernden *Pedicularis*-Arten sind nämlich fast um die Hälfte kleiner und nur in der Nähe des verschmälerten Endes der Wurzelfasern entwickelt. Ihre Zahl ist sehr gering; jede der langen, dicken und fleischigen Wurzelfasern, welche von der Basis des Stengels ausgeht, entwickelt gewöhnlich nur eine einzige Saugwarze, und diese legt sich an die Wurzel einer entsprechenden Wirtspflanze ganz ähnlich wie jene vom Wachtelweizen an. Bis zur Fruchtreife des Schmarotzers ist dann das angefallene Wurzelstück des Wirtes gewöhnlich schon gebräunt und im Zerfall begriffen. Für den Wachtelweizen kann es nun allerdings gleichgültig sein, ob zur Zeit seiner Fruchtreife das von ihm angefallene Wurzelstück des Wirtes noch lebendig ist oder nicht, da seine eigene einjährige Wurzel alsbald verwest, nachdem sich oberirdisch aus den Blüten die

Samen ausgebildet haben. Nicht so bei *Pedicularis*. Die ausdauernden Wurzeln dieser Gewächse bedürfen auch für das nächste Jahr einer nährenden Wirtspflanze, und wenn das befallene, als Nährboden benutzte und ausgefogene Wurzelstück des Wirtes abstirbt, so ist auch die Saugwarze der schmarogenden Wurzel nicht mehr in der Lage, ihrer Aufgabe nachzukommen und noch fernerhin frische Säfte aufzunehmen. Solche nicht mehr funktionierende, in Ruhestand versetzte Saugwarzen gehen auch bald zugrunde, und man sieht dort, wo sie waren, nur noch eine kleine Narbe. Die ausdauernde *Pedicularis*-Wurzel muß jetzt nach einem neuen Nährboden suchen, und das geschieht in der Weise, daß sich ihre Spitze verlängert und so lange fortwächst, bis die lebendige Wurzel einer anderen Wirtspflanze erreicht ist, an die sie sich dann sofort mit einer neuen Saugwarze anlegt. Eine solche Verlängerung der Wurzel bedarf allerdings viel Baumaterial. Das findet sich aber reichlich in den älteren Teilen der Schmarogervurzel aufgespeichert.

Aus diesen Umständen erklären sich, wenigstens teilweise, der eigentümliche Bau und die ganz unverhältnismäßige Länge der *Pedicularis*-Wurzeln. Von dem kurzen, meist nur $\frac{1}{2}$ —2 cm langen, aufrechten Wurzelstocke gehen nämlich ringsum fleischige, mit Stärkemehl, Öl und anderen Reservestoffen reichlich erfüllte Fasern von der Dicke eines Federkiesels, ja bei manchen Arten bis zur Dicke eines kleinen Fingers aus, die sich im Laufe der Zeit bis zu 20 cm verlängern und nach allen Seiten in den von dem Wurzelwerke der Gräser, Seggen und verschiedenen anderen Pflanzen durchsetzten schwarzen Wiesenboden ausstrahlen, sich dort von Jahr zu Jahr mit einer oder ein paar neuen Saugwarzen an zusagenden Wirten anheften und dieses Spiel so lange wiederholen, bis endlich ihre Spitzen in eine wurzelfreie Erde gelangen, in der sie keine Beute mehr finden, und wo dann auch ihr Längenwachstum aufhört. So erklärt sich auch, warum diese langen *Pedicularis*-Wurzeln niemals senkrecht in die Tiefe des Erdreiches hinabsteigen, sondern sich nur in den oberen Schichten des Wiesenbodens halten, wo eine Unmasse von anderen Wurzeln sich kreuzt und die größte Wahrscheinlichkeit vorhanden ist, daß die fortwachsenden verschmälerten Spitzen der *Pedicularis*-Wurzeln mit der Wurzel irgendeines neuen Wirtes zusammentreffen.

Bartschia alpina, eine in der Arktis sowie in den Hochgebirgen Europas auf feuchten, moorigen, begrasten Stellen häufig vorkommende ausdauernde Rhinanthazee, ist durch die düstere, schwärzlichviolette Färbung ihrer Blätter und Blüten ausgezeichnet und macht dadurch den Eindruck einer Trauerpflanze. Darum wählte, wie hier erwähnt sein mag, Linné für diese düstere Pflanze den Namen *Bartschia*, um damit seiner Trauer über den Tod des ihm innig befreundeten, eifrigen Naturforschers und Arztes Bartsch, der in jungen Jahren dem Klima Guayanas erlag, einen Ausdruck zu geben. Feuchter, schwarzer Boden und die Umgebung von Quellen bilden den bevorzugten Standort dieser Pflanze. Gräbt man im Sommer ihren Wurzeln nach, so sieht man, daß von ihnen einige Saugwarzen ausgehen, die sich den Wurzeln nachbarlicher Gräser und Niedgräser anlegen, ganz ähnlich wie beim Klappertopfe (*Alectorolophus*). In ihren unterirdischen ausläuferartigen, mit kleinen weißlichen Schuppen besetzten Stengelteilen finden sich Wurzeln, welche aus der umgebenden Dammerde Nahrung aufnehmen. Diese *Bartschia* ist demnach halb Schmaroger-, halb Humuspflanze.

Den *Pedicularis*-Arten, welche die umfangreichste Gruppe dieser ausdauernden, grünbelaubten und schmarogenden Rhinanthazeen bilden, fehlen zwar schlauchförmige Saugzellen (Wurzelhaare) sowohl an den unterirdischen Stengelbildungen als auch hinter der Wurzelspitze; aber der Bau der Oberhautzellen an den Wurzeln und auch der Umstand, daß diese

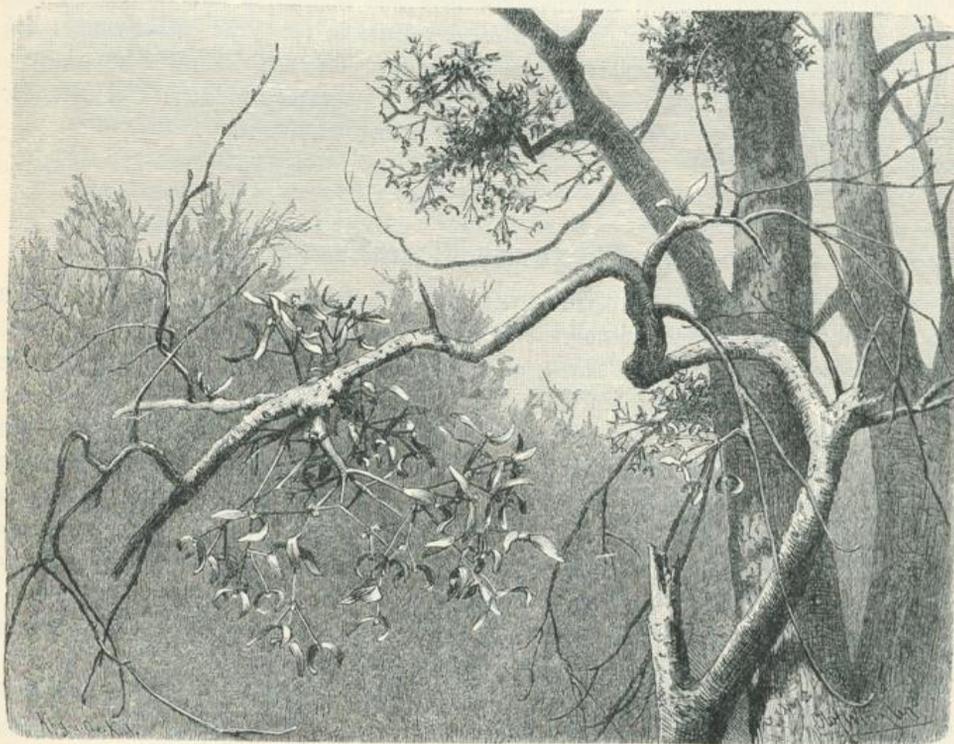
Oberhautzellen immer mit dunkeln Humusklümpchen verwachsen sind, würde nicht dagegen sprechen, daß diese Gewächse neben der Nahrung, die sie durch ihre Saugwarzen aus dem überfallenen Wirt gewinnen, auch noch aus der Dammerde des Wiesenbodens organische Verbindungen aufzunehmen imstande sind. Diese Annahme findet auch darin eine Stütze, daß es gelungen ist, eine Rhinanthazeenart, nämlich *Odontites lutea*, aus Samen in einem Erdreiche heranzuziehen, das aus mit Sand gemengtem Humus bestand, in dem aber keine einzige andere Pflanze wurzelte, so daß daher auch die Möglichkeit des Entnehmens von Nährstoffen aus anderen Gewächsen ausgeschlossen war. Allerdings blieben die auf solche Weise herangezogenen Pflanzen vergleichsweise klein und kümmerlich und entwickelten auch nur wenige Blüten und Früchte, was von anderer Seite in der Weise erklärt wurde, daß sich wahrscheinlich die nebeneinander aufgewachsenen Exemplare von *Odontites lutea* gegenseitig anfielen und zugleich als Wirtspflanzen und Schmaroger verhielten. In normaler Form entwickelt sich aber auch *Odontites* nur als Schmarogerpflanze.

Die Misteln und Riemenblumen.

Unter den grünen Schmarogern entfernt sich in Form, Vorkommen und Lebensweise am meisten von den übrigen Genossen eine Reihe Gewächse von buschigem Ansehen, mit gabelig-verzweigten Ästen, grüner Rinde, grünen Blättern und beerenartigen Früchten, deren große Samen unmittelbar auf den Ästen und Zweigen der Bäume keimen, welche ihnen als Wirtspflanzen einen Teil der Nahrung abtreten müssen. Es gehören in diese Reihe ein Duzend im südlichen Asien und vorzüglich im Indischen Archipel heimischer Arten der Gattung *Henslowia* aus der Familie der Santalazeen und dann weit über dreihundert Arten aus der Familie der Loranthazeen. Die meisten von ihnen sind Tropenbewohner; eine Loranthazee aber ist bei uns verbreitet und bekannt und sogar als Zimmerschmuck zur Weihnachtszeit beliebt. Es ist die auf S. 348 abgebildete europäische Mistel (*Viscum album*), welche auch in ihrer Lebensweise als Vorbild für die ganze Reihe gelten kann und darum vor allen anderen hier besprochen werden soll.

Die Mistel schmarogt bekanntlich auf Holzpflanzen, und zwar auf Laubhölzern wie auf Nadelhölzern, doch scheint es sich dabei um zwei äußerlich zwar ganz ähnliche, biologisch aber verschiedene Formen zu handeln. Am häufigsten siedelt sie sich an solchen Bäumen an, deren Äste mit einer weichen, saftreichen Rinde, besonders mit einem möglichst dünnen und zarten Korkgewebe, bekleidet sind, wie das bei den Weißtannen, den Apfelbäumen und den Pappeln der Fall ist. Der Lieblingsbaum der Mistel ist jedenfalls die Schwarzpappel (*Populus nigra*). Auf deren Ästen gedeiht sie in einer erstaunlichen Uppigkeit, und dort, wo die Schwarzpappel in kleineren Beständen wächst, bilden die Misteln selbst wieder förmliche Bestände in den Baumkronen. Entlang der Küste der Ostsee und in den Auehölzern längs der Donau bei Wien, zumal im berühmten Prater, welchem die S. 349 eingeschaltete Abbildung entnommen ist, trifft man auf manchen Schwarzpappeln Mistelbüsche, die einen Umfang von 4 m und eine Stammesdicke von 5 cm besitzen, und deren dichtes Gezweige die Vögel mit Vorliebe zum Bau ihrer Nester benutzen. In den Wäldern des Karstes in Krain und im Schwarzwalde, wo Pappelbäume nur eine untergeordnete Rolle spielen, wo dagegen ausgedehnte Bestände der Weißtanne den Boden beschatten, sind unzählige Wipfel dieses Nadelholzes mit

schmarogenden Misteln besetzt, und in den Rheingegenden sowie im Zinntal in Tirol ist die Mistel ein lästiger Gast auf den Apfelbäumen in der Umgebung von Bauerngehöften. Wo diese drei vorzüglich als Wirtspflanzen beliebten Bäume fehlen oder doch sehr zurücktreten, nimmt die Mistel auch mit anderen Gehölzen vorlieb, und man findet sie dann gewöhnlich auf jener Baumart, welche in der betreffenden Landschaft die häufigste ist, in dem Schwarzkiefergebiete des Wiener Waldes auf Schwarzkiefern, in den Heidewäldern der sandigen Niederung der Mark auf der gewöhnlichen Kiefer. Weit seltener wurde ihr Vorkommen auf Walnußbäumen, Linden, Ulmen, Ahornen, Birken, Robinien, Weiden, Eichen, Weißdorn-



Die europäische Mistel (*Viscum album*).

Birn-, Nispel-, Zwetschen- und Mandelbäumen und den Sorbus-Arten beobachtet. Ausnahmsweise fand man Misteln auch auf Eichen und älteren Weinstöcken und in der Gegend von Verona einmal auch auf den schmarogenden Gebüsch der Niemenblume (*Loranthus Europaeus*), also eine Loranthazee auf der anderen, angesiedelt. Buchen und Platanen werden von ihr gemieden, was wahrscheinlich mit dem eigentümlichen Bau der Rinde dieser Bäume zusammenhängt. Die meisten tropischen Misteln sind in betreff der Wahl ihrer Wirte ebenso wenig wählerisch wie die europäische. Seltenerweise hat man im tropischen Indien ebenfalls das Schmarozen von Misteln auf Misteln beobachtet. So z. B. wurde dort *Viscum moniliforme* wiederholt auf *Viscum orientale* angetroffen, welches letzteres selbst wieder einen Laubholzbaum zur Ansiedelung gewählt hatte.

Die Verbreitung der europäischen Mistel erfolgt, wie bei allen anderen Loranthazeen,

durch Vögel, und zwar besonders durch die Drosseln, welche die Mistelbeeren als Nahrung aufnehmen und die unverdauten Samen mit den Excrementen auf den Baumästen ablagern. Daß diese Samen nur dann keimen, wenn sie früher durch den Darmkanal der Vögel gegangen sind, ist allerdings eine Fabel, und es wird diese ältere Angabe leicht dadurch widerlegt, daß man Samen aus den frisch vom Baum abgenommenen Beeren, in die Rigen der nächsten Baumrinde geklebt, regelmäßig zum Keimen bringen kann; aber diese Fabel ändert durchaus nichts an der Tatsache, daß in der freien Natur die Mistelsamen nur durch Vögel in der oben angegebenen Weise verbreitet werden. Mit dieser Verbreitungsweise hängt auch



Mistelbüsche auf der Schwarzpappel im Winter. (Zu S. 347 und 352.)

die beim ersten Anblick überraschende Erscheinung zusammen, daß die Stöcke der Mistel nur selten auf den oberen, dagegen sehr häufig an den Seitenflächen der Äste aufsitzen. Der Kot der von Mistelbeeren lebenden Drosseln bildet nämlich eine zähflüssige, sehr klebrige Masse, die sich wie Vogelleim in Fäden zieht und, auf der oberen Fläche der querlaufenden Baumäste deponiert, sofort längs den Seiten des Astes herabfließt, mitunter auch zu Strängen von 20—30 cm Länge sich auspinnt. Die darin eingebetteten Mistelsamen werden durch diese dem Gesetz der Schwere folgende zähflüssige Kotmasse an die Seiten, ja selbst an die unteren Flächen der Rinde hingeführt und angeklebt.

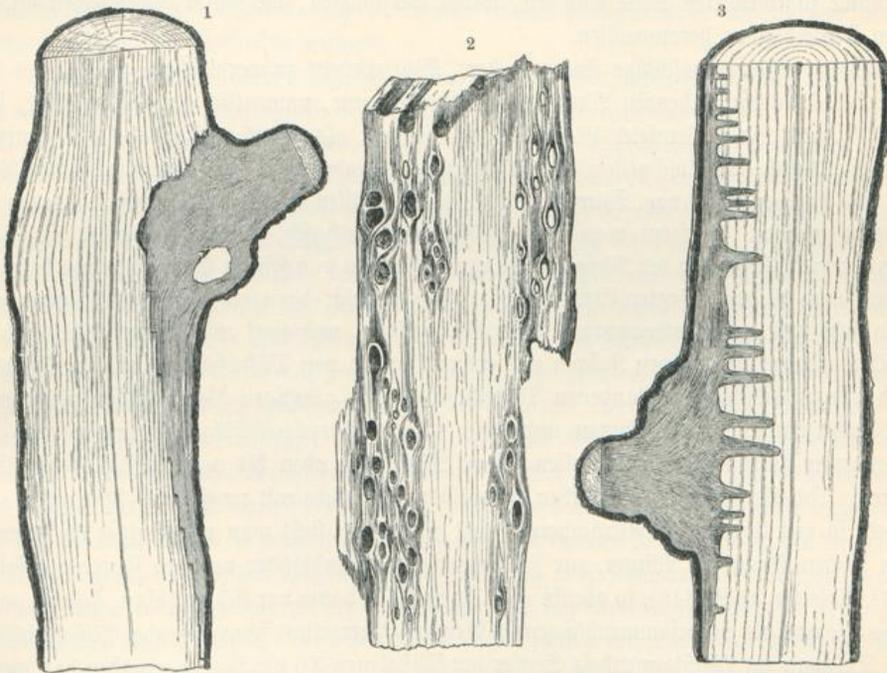
Es kann ziemlich lange dauern, bis ein solcher Mistelsame keimt, zumal dann, wenn er schon im Herbst angeklebt wurde. Der Keimling, rings von reichlichem Nährgewebe umgeben, ist verhältnismäßig groß und hat durch zwei längliche, dicht aneinander liegende,

dunkelgrüne Keimbätter eine keulenförmige Gestalt. Bei der Keimung streckt sich das unterhalb der Keimblätter liegende, in dem kurzen Würzelchen endigende kleine Stengelstück. Die Wandung der Frucht wird durchbrochen, das Würzelchen kommt aus dem Risse zum Vorschein und wird unter allen Umständen gegen die Rinde des Astes hingelenkt, an dem der Same angeklebt ist. Es wird diese Richtung selbst dann eingehalten, wenn der Same zufällig so angeleimt wurde, daß das Würzelchen des Keimlings von der Astrinde abgewendet zu liegen kam. In solchem Falle findet eine sehr auffallende Krümmung der ganzen Achse des Keimlings gegen die Rinde hin statt. Immer gelangt so das Würzelchen an die Rinde, legt sich an diese an, verklebt mit ihr, breitet sich zu einem kuchenförmigen Gebilde aus und gestaltet sich zu einer förmlichen Haftscheibe. Aus deren Mitte wächst nun ein feiner Fortsatz in die Rinde der Wirtspflanze, durchbohrt sie und dringt bis zum Holzkörper vor, ohne in diesen aber hineinzuwachsen. Man hat diesen sich einsenkenden Fortsatz Senker genannt; er ist als eine eigentümlich umgeformte Wurzel aufzufassen.

Mit der Ausbildung dieses Senkers ist die Entwicklung für das erste Jahr abgeschlossen. Nach Ablauf des Winters wächst der Ast, dessen Holzkörper der Senker nur mit seiner Spitze erreicht hatte, in die Dicke; über dem vorjährigen Holze bildet sich eine neue Schicht von Holzzellen, ein sogenannter Jahresring, aus. Diese wachsende Holzmasse umlagert zuerst die Spitze des Senkers mit Holzzellen, umwallt ihn dann auch von der Seite her, drängt hier das Rindengewebe, in welchem der Senker bislang eingeklebt war, vor sich her nach außen, und so kommt es, daß schließlich der Senker tief in der Holzmasse darinnensteckt. Wie ein Pfahl, der am Ufer des Meeres steht, bei steigender Flut anfänglich nur an seinem unteren Ende, dann an den Seiten und allmählich immer weiter hinauf vom Wasser umgeben wird und schließlich ganz im Wasser steht, ebenso wird auch hier der einem Pfahl vergleichbare Senker von der höher und höher sich aufbauenden Masse der Holzzellen umwallt und eingeschlossen. Der Senker selbst bleibt eigentlich unverrückt; nicht er wächst in das Holz hinein, sondern das Holz überwuchert ihn. Würde der Senker alles Wachstum gänzlich eingestellt haben, so müßte er von den immer mächtiger sich aufbauenden Holzschichten des in die Dicke wachsenden Baumastes schließlich ganz überwältigt und förmlich begraben werden. Damit nun diese für die Mistel so gefährliche gänzliche Einhüllung ihres Senkers nicht stattfindet, bildet sich nahe der Basis des Senkers eine Zone von Zellen aus, welche in derselben Zeit, in der die umgebende Holzmasse sich erhöht, gleichfalls erhöht wird, was natürlich eine Verlängerung des Senkers nach außen zur Folge hat. Das Stück aber, das sich dort im Senker eingeschaltet hat, ist genau so lang, wie der betreffende Jahresring in dem umgebenden Holze des Astes dick ist. So erscheint schließlich der Mistelsenker in eine Menge von Jahresringen eingepfählt, obgleich er nicht in sie hineingewachsen ist, sondern von ihnen allmählich überwältigt wurde.

Aus dieser dauernd wachstumfähigen Zone des Senkers entstehen im zweiten Jahre nach der Ansiedelung des Mistelkeimlings auch seitliche Abzweigungen, die von den Botanikern Rindenwurzeln genannt werden. Es sind dicke, zylindrische oder etwas zusammengedrückte Fäden, die alle nebeneinandergereiht unter der Rinde in der Bastichicht des angefallenen Astes verlaufen. Während die Senker senkrecht auf der Achse des befallenen Astes stehen, laufen die Rindenwurzeln parallel der Rindenoberfläche (s. Abbildung, S. 351, Fig. 3). Manchmal gabelt sich eine Rindenwurzel nahe ihrer Ursprungsstelle in zwei Äste, diese fahren alsbald auseinander und folgen in ihrem weiteren Verlauf auch wieder der Längsachse des Astes. So kommt es, daß sämtliche Rindenwurzeln einer Mistelpflanze als parallele, dicke,

grüne Fäden oder Stränge an dem befallenen Aste der Wirtspflanze hinauf- oder herablaufen. Jede von ihnen kann nun hinter ihrer fortwachsenden Spitze neue Senker entwickeln, die ganz ähnlich dem oben geschilderten ersten, vom Mistelkeimling ausgegangenen Senker gebildet sind. Auch sie wachsen senkrecht in das Holz hinein, werden von der Holzmasse umwuchert und halten im Wachstum gleichen Schritt mit dem sich verdickenden Holzkörper des Astes. Da sich diese von den Rindenwurzeln ausgehende Senkerbildung jährlich wiederholt, so sind die der fortwachsenden Spitze der Rindenwurzeln zunächststehenden Senker als die jüngsten auch die kürzesten, die von der fortwachsenden Spitze entferntesten Senker die ältesten, auch erscheinen die ersteren



1 Riemenblume (*Loranthus Europaeus*) und 3 Mistel (*Viscum album*), auf Baumstämmen schmarozend, Längsdurchschnitt; 2 ein Stück Zaunholz, von den Senkern der Mistel durchlöchert. (Zu S. 350—51, 353.)

nur von einem, die letzteren aber von desto mehr Jahresringen des Astholzes umwachsen, je mehr sie sich der Stelle nähern, wo die erste Einwurzelung des Mistelpflänzchens erfolgte.

Das ganze Wurzelsystem der Mistel läßt sich mit einem Rechen vergleichen. Der Querbalken des Rechens entspricht der Rindenwurzel, die Zähne des Rechens entsprechen den Senkern; der Querbalken ist parallel zur Achse des Astes und unter der Rinde liegend, die Zapfen des Rechens senkrecht auf die Achse des Astes und in das Holz desselben eingepfählt zu denken.

Während sich die Mistelpflanze im Inneren des angefallenen Baumastes in der angegebenen Weise mit ihren Wurzeln breit macht, entwickelt sich über der Astrinde ihr Stengel. Zur Zeit, wenn sich aus der Gaftscheibe des Keimlings der später zum ersten Senker werdende Fortsatz durch die Rinde eindringt, sind die Keimblätter noch von dem Speichergewebe und der Fruchthaut wie von einer Mütze umgeben; sobald aber dieser erste Senker einmal festigt und aus dem Holze des Wirtes flüssige Nahrung aufzunehmen vermag, wird diese Mütze abgeworfen, die Spitze des noch sehr kurzen Stengelchens richtet sich auf, die Keimblätter

lösen sich, fallen ab, und nahe über ihnen entsteht ein grünes Blattpaar. Von nun an hält die Entwicklung des über der Rinde sichtbaren Teiles der Mistelpflanze gleichen Schritt mit der Entwicklung der Wurzeln unter der Rinde und hängt auch ab von der Menge der aus dem Holze durch die Senker aufgenommenen Nahrung. Wo diese sehr reichlich ist, wie in den Pappelbäumen, wächst die Mistel in größter Üppigkeit heran; wo sie spärlicher fließt, bleibt sie im Wachstum zurück und bildet dann oft nur kleine, gelblich und kränklich aussehende Büsche. Ist die nährenden Wirtspflanze freigebig, so entspringen auch von den Rindenwurzeln, denen von den Senkern die aufgesogene Nahrung zunächst zugeführt wird, an der äußeren, der Rinde zugewendeten Seite Knospen, welche ausschlagen, die Rinde durchbrechen und zu neuen Mistelbüschen heranwachsen.

Solche Wurzelanschläge sind mit der „Wurzelbrut“ zu vergleichen, welche aus den unter der Erde hinkriechenden Wurzeln der Pappelbäume, namentlich der Zitterpappel, heranwächst, und dieser Vergleich ist um so zutreffender, als der Ausschlag aus den Wurzeln der Mistel durch das Abschneiden des Mistelbusches gerade so befördert wird wie bei den Pappeln das Heranwachsen von Wurzelbrut durch das Fällen der Baumstämme, zu denen die Wurzeln gehören. Entfernt man einen größeren Mistelbusch, der sich vereinzelt auf einer Pappel entwickelt hat, in der Meinung, dadurch den Wirt von seinem Schmarozer zu befreien, so wird man in den gehegten Erwartungen sehr getäuscht; denn an zahlreichen Punkten entstehen jetzt aus den Rindenwurzeln Wurzelanschläge, und statt mit einem Mistelbusch ist der Pappelbaum in wenigen Jahren mit einem Duzend von Mistelbüschen besetzt. Da diese durch Wurzelanschlag entstandenen Mistelbüsche unter günstigen Verhältnissen neuerdings Rindenwurzeln aussenden können und diese wieder Wurzelanschläge bilden, so wird ein solcher guter Wirt schließlich an allen seinen Ästen von oben bis unten mit Misteln überwuchert. Im Prater bei Wien stehen Pappelbäume, welche mit wenigstens 30 großen und doppelt so viel kleinen Mistelsträuchern besetzt sind, und sieht man von einiger Entfernung einen solchen Baum im Winter, zur Zeit, wenn seine Laubblätter von den Zweigen gefallen sind (s. Abbildung, S. 349), so glaubt man einen Mistelbaum vor sich zu haben; fast die ganze Krone erscheint als ein zusammenhängendes Gewirr immergrüner schmarogender Mistelgebüsch.

Da man im Weißtannenholtz Senker der Mistel von 10 cm Länge gefunden hat, welche von 40 Jahresringen des Tannenholzes umwallt waren, so kann man daraus schließen, daß die Mistel 40 Jahre alt werden kann. Ein höheres Alter dürfte ein Mistelbusch kaum erreichen. Stirbt die Mistel ab, so erhalten sich die Rindenwurzeln sowie die Senker noch eine Zeitlang, endlich aber vermodern sie und zerfallen, während das Holz, in dem die Senker eingebettet waren, unverändert bleibt. Solche Holzstücke sind dann vielfach durchlöchert und sehen gerade so aus wie das Holz einer Scheibe, die von zahlreichen Schrotten oder kleinen Kugeln getroffen und durchlöchert worden ist (s. Abbildung, S. 351, Fig. 2).

Schmarogend auf den Gebüsch des rotbeerigen Wacholders *Juniperus Oxycedrus* lebt im mittelländischen Florengebiet eine kleine Loranthazee, welche den Namen Wacholdermistel (*Viscum Oxycedri* oder *Arceuthobium Oxycedri*) führt, und welche von der gewöhnlichen europäischen Mistel schon auf den ersten Blick dadurch sehr abweicht, daß ihre Laubblätter in kleine Schuppen zurückgebildet sind, wodurch die Verzweigungen ein eigentümliches, gegliedertes Aussehen erhalten. Eine ganze Reihe von mit dieser Art verwandten, blattlosen Formen findet sich in Ostindien und Japan, auf Java und Bourbon, in Mexiko, Brasilien und im Kaplande. Fast alle sind kleine Büsche, welche von den Ästen

ihrer Wirtspflanzen ausgehen, und zwar bisweilen in solcher Menge, daß das Gezweige des Wirtes ganz von ihnen verhüllt wird. Die Zweiglein der nur 3—5 cm großen Wacholdermistel sind nicht holzig, sondern weich und krautartig; ihre Früchte, fast saftlose, blaue, längliche Beeren, werden durch Vögel gerade so wie die Beeren der gewöhnlichen Mistel verbreitet, und auch die Ansiedelung und das Anwachsen an den Zweigen der Wirtspflanze erfolgt in ähnlicher Weise wie bei jener. Sie entwickelt Senker und Rindenwurzeln; doch sind diese Wurzelbildungen durchaus nicht so regelmäßig geordnet wie bei *Viscum album*, sie bilden vielmehr ein fast unentwirrbares Geflecht von Strängen und Fäden, welches die inneren Schichten der Rinde durchzieht, sich in immer feinere Zellgruppen auflöst und an die Saugvorrichtung der Nasseien erinnert.

Ganz eigentümlich verhält sich die auf den Eichen- und Kastanienbäumen im östlichen und südlichen Europa schmarotzende Riemenblume (*Loranthus Europaeus*). Die Art und Weise, wie sie an die Äste der Eichen kommt, ist allerdings ähnlich wie bei den beiden früher besprochenen Loranthazeen. Die in zierliche, zweizeilige Träubchen gruppierten gelben Beeren werden von den Drosseln im Herbst und Winter gern gefressen, und die unverdauten Samen gelangen mit dem Kote dieser Vögel an die Äste und Zweige der Bäume. Der hier aus den Samen hervorwachsende Keimling krümmt sich zur Rinde hin und klebt sich dort, meistens in der Tiefe kleiner Sprünge und Risse, mittels des zur Haftscheibe werdenden Wurzelchens an. Aus der Mitte dieser Haftscheibe dringt dann ein alle Rindenschichten des Eichenastes durchbohrender Fortsatz bis in das junge Holz hinein, und dieser einem eingeschlagenen kleinen Nagel vergleichbare Fortsatz wächst auf Kosten der Nahrung, welche er dem jungen Holz entzieht, in die Dicke und entwickelt einen, zwei oder drei Äste, welche aber immer nur nach abwärts, unter der Rinde verlaufen und niemals Senker bilden, wie sie die Misteln zeigen. Jede dieser Wurzeln hat schon in der Anlage die Gestalt eines Keiles und wirkt auch in der Tat wie ein Keil, indem sie zwischen die noch zarten und weichen Zellen, die an der Peripherie des festen, alten, vorjährigen Holzkörpers im Frühling vom Kambium ausgebildet wurden, und aus denen ein neuer Jahresring hervorgehen soll, sich eindringen und dabei dieses Zellgewebe spalten und zerreißen. Was von diesen zarten Zellen außerhalb des Keiles zu liegen kommt, stirbt ab; was innerhalb desselben liegt, wird zu festem Holze, das der keilförmigen Wurzel dicht anliegt. Unterhalb der Spitze des Keiles erstreckt sich begreiflicherweise die Verholzung der Kambiumzellen viel weiter nach außen, weil dort nichts abgespalten wurde und nichts abgestorben ist. Vor der Spitze des Keiles befindet sich daher jetzt widerstandsfähiges Holz. Die Wurzel vermag dasselbe mit ihrer Spitze nicht mehr zu spalten und wird daher in ihrem Wachstum an dieser Stelle auch aufgehalten. Dagegen besteht für sie kein Hindernis, wenn sie etwas weiter nach außen weiterwachsen will, dort, wo der neue Jahresring aus festem Holze sein Ende erreicht hat, und wo sich im Kambium wieder neue weiche und zarte Zellen ausgebildet haben; was auch in der Tat geschieht.

Jedes Stück, um das sich die zwischen Holz und Rinde des Eichenastes fortwachsende *Loranthus*-Wurzel verlängert, ist daher von der Achse dieses Astes weiter entfernt, oder mit anderen Worten, die Berührungsfläche zwischen *Loranthus*-Wurzel und Eichenholz hat die Gestalt einer Treppe, deren unterste Stufe die Basis bildet, und deren oberste die Spitze der Wurzel darstellt (s. Abbildung, S. 351, Fig. 1). Diese Stufen sind sehr klein, jede derselben zeigt etwa die Höhe von 5—7 mm, sie sind aber an den Längsdurchschnitten recht deutlich zu erkennen, wozu allerdings der Umstand wesentlich beiträgt, daß die eingewachsene

Loranthus-Wurzel eine dunklere Färbung besitzt als das Eichenholz. An der Berührungsfäche saugt jedenfalls die Loranthus-Wurzel flüssige Nahrung aus dem Eichenholz, und es ist wahrscheinlich, daß diese Auffaugung ganz vorzüglich an den stufenförmigen Einkerbungen stattfindet. Die Verlängerung der Wurzel kann natürlich nur in jenem Zeitraum erfolgen, in dem sich eine junge, spaltbare Zellschicht an der Außenseite des festen Holzes findet, und das Weiterwachsen der Loranthus-Wurzel ist daher weit mehr an eine bestimmte Zeit und an den jährlichen Entwicklungsgang der von ihr überfallenen Eiche gebunden als das Weiterwachsen der Mistelwurzel, womit wohl auch im Zusammenhang stehen mag, daß die



Sogenannte Holzrose, durch Wucherung des Holzkörpers von dem Baumast gebildet, auf dem ein Schmarotzer, Phoradendron, sich angehebelt hatte. (Zu S. 355.)

Mistel immergrünes Laub besitzt, während die Riemenblume sommergrün ist, im Frühling in derselben Woche wie die Eiche neues, junges Laub erhält und auch im Herbst in derselben Zeit wieder von ihr bewohnte Eichenbaum das Laub abwirft.

Der aus dem Keimling des Loranthus-Samens hervorgehende Stengel wächst vom Eichenast weg in die Luft hinaus und entwickelt sich auf Kosten der ihm von der oben geschilderten Wurzel zugeführten, aus dem Eichenholz gesaugten Nahrung ziemlich rasch zu einem vielfach zweigabelig verästelten Busch, der im Sommer dem Mistelbusche nicht unähnlich ist, im Herbst aber, wenn er sein Laub abgeworfen hat, durch seine dunkelbraunen Zweige und die weithin sichtbaren gelben Beerensträubchen ein ganz anderes Aussehen erhält.

Die Sträucher der Riemenblume werden noch viel umfangreicher als die der Mistel; ihre Stämme erreichen nicht

selten die Dicke von 4 cm, überziehen sich mit schwärzlicher, rauher Borke, und derlei ältere Stämme sind dann gewöhnlich reichlich mit Flechten besetzt. Dort, wo die Loranthus-Stämme aus dem Eichenast entspringen, sind sie immer mit einem mächtigen Wall aus Eichenholz umgeben, und manchmal steckt die Basis der Stämme in einem sehr regelmäßig gerundeten, tiefen Napf, der lebhaft an ähnliche Bildungen erinnert, aus denen die Stengel der Kolbenschoßer entspringen. Während aber diese schalen- oder napfförmige Umwallung des Stengels bei den Kolbenschoßern dem Schmarotzer angehört, ist sie bei der Riemenblume aus dem Holze der Wirtspflanze, d. h. der Eiche, gebildet. Sie ist als eine Wucherung des Holzes aufzufassen. An alten Eichen des östlichen Europa erreichen diese Wucherungen mitunter die Größe eines Menschenhauptes. An einem nahezu hundertjährigen Loranthus-Busch aus dem Ernstbrunner Wald in Niederösterreich, welcher die Höhe von 1,2 m und den Umfang von 5,5 m erreicht hatte, zeigte diese Wucherung einen Durchmesser von 40 cm. Aber nicht nur der

Ansatz des Riemenblumengebüsches am Eichenaste wird mit Holzzellen überwuchert, auch die älteren Stücke der früher geschilderten Wurzeln werden häufig von dem in die Dicke wachsenden Holze des Eichenastes umwallt und teilweise eingeschlossen. Man sieht sie dann manchmal tief im Holze stecken, aber nichtsdestoweniger dabei noch frisch und lebendig bleiben, was sich wohl daraus erklärt, daß durch einzelne Balken und Brücken noch immer der Zusammenhang mit den anderen Teilen der Wurzeln erhalten bleibt. Aus solchen tief im Eichenholz eingepreßten Wurzelstücken kann sich sogar ein Wurzelauschlag entwickeln, der, nach außen wachsend, alle über ihm liegenden Schichten durchbricht und zu einem jungen Busche wird, der unter der Eichenrinde Wurzeln treibt und sich dann gerade so verhält wie ein Stock, der aus einem angeklebten Samen entstanden ist.

Die hier geschilderte Riemenblume (*Loranthus Europaeus*) hat unscheinbare gelbliche, kleine Blüten; unter der tropischen Sonne Afrikas, Asiens und vor allem des zentralen Amerika sind dagegen die schmarotzenden *Loranthus*-Arten mit den prächtigsten Blumen geschmückt. Es gibt in den Tropen Arten, wie z. B. *Loranthus formosus*, *grandiflorus*, *Mutisii*, deren Blüten einen Durchmesser von 10, 15, ja selbst 20 cm erreichen und zudem in die grellsten purpurnen und orange-gelben Farben gekleidet sind. Manche *Loranthus* sind kleinen Bäumen vergleichbar, welche anderen Bäumen aufgefropft sind. Als Wirtspflanzen dieser Riemenblumen erscheinen vorwiegend Laubhölzer. Wiederholt hat man auch *Loranthus* auf *Loranthus* schmarotzend angetroffen, so z. B. in Chile *Loranthus buxifolius* auf dem *Loranthus tetrandrus*.

Sehr auffallend gestaltet sind die Umwallungen, welche die in Mexiko und Zentralamerika heimischen *Phoradendron*-Arten hervorrufen. Das Holz der Wirtspflanze bildet rosenförmige, gefurchte Köpfe, welche nach dem Abfallen des Parasiten sehr merkwürdig aussehen und in ihrer Heimat als „Holzrosen“ bekannt sind (s. nebenstehende Abbildung).

Die chlorophyllfreien Schmarotzer.

1. Chlorophyllfreie Blütenpflanzen.

Der Parasitismus führt, wie die Erfahrung lehrt, überall zur Degeneration, d. h. zum Verlust wertvoller Lebenseigenschaften. Bei den Menschen pflegt diese Degeneration bloß moralisch zu sein. Tiere und Pflanzen verlieren dagegen wichtige, bei den normalen Formen vorhandene Körpermerkmale; die Organe werden unvollkommen, die Ernährungs- und Fortpflanzungsverhältnisse werden durch den Parasitismus beeinflusst und unterliegen einer stufenweisen Verkümmern. So haben die meisten pflanzlichen Parasiten die Fähigkeit der Chlorophyllbildung ganz eingebüßt. Obwohl man nicht sagen kann, wann und wie ein solcher Verlust begonnen habe, ist er doch durchaus begreiflich. Wenn zunächst grüne Pflanzen sich einem gemäßigten Parasitismus ergeben, wie wir ihn bei den grünen Schmarotzern kennen lernten, so schritten andere auf diesem Wege weiter fort. Für den Parasit war es noch viel bequemer, statt eines kleinen Teils seiner Nahrung seinen ganzen Bedarf von anderen Pflanzen erarbeiten zu lassen und ihn bloß aufzuzehren. Dann brauchte er aber auch kein Chlorophyll mehr zu bilden, und er gab die Bildung der Chlorophyllkörper ganz auf. Aber ein Verlust führte den anderen nach sich. Wo das Chlorophyll fehlt, brauchen auch keine flächenförmigen Träger dafür vorhanden zu sein, und man wundert sich nicht, bei den chlorophyllfreien Schmarotzern

die Blattbildung so gut wie gar nicht mehr anzutreffen. Da aber die Blätter gerade die charakteristischen Organe der Pflanzen sind, sehen die meisten dieser Scharozer den übrigen Pflanzen gar nicht mehr ähnlich; nur an ihren Blüten erkennt man ihren Zusammenhang mit der normalen Pflanzenwelt. Aber die Rückbildung ging noch weiter. Parasiten, die keine Blätter bilden, transpirieren wenig. Sie brauchen daher weder ein reiches Wurzelsystem zur Zuführung des Wassers, noch Leitbündel, und ihre Wurzelorgane sind ebenso verkümmert wie ihr Gefäßbündelsystem; ihr Körper zeigt kein verholztes Gewebe, sondern ist weich und biegsam.

Windende Scharozer.

Die windenden Scharozer ragen an Zahl unter den übrigen Pflanzen nicht hervor, aber da einige von ihnen massenhaft unsere Kulturpflanzen heimsuchen, so sind sie doch sehr bekannt. Dahin gehören die Arten der Gattung *Cuscuta*. Sie umfaßt ungefähr 50 Arten, die ziemlich gleichmäßig über die ganze Welt verteilt sind, und zwar hat jeder Weltteil seine ihm eigentümlichen Formen. Eine Gruppe findet sich in Kalifornien, Carolina, Indiana, Missouri, Mexiko, eine andere in Westindien, Brasilien, Peru und Chile, eine dritte am Kap der Guten Hoffnung. Andere Arten sind in China, Ostindien, im Steppengebiet Zentralasiens, in Persien, Syrien, Ägypten und im Kaukasus zu Hause. Verhältnismäßig viele Arten (25) sind durch das mittlere und südliche Europa verbreitet. Einige sind hier vor nicht langer Zeit mit Samen aus der Neuen Welt eingeschleppt worden, wie z. B. *Cuscuta corymbosa*, mit Schneckenkleejamen aus Südamerika nach Belgien zufällig eingeführt, hat sie sich in Mitteleuropa verbreitet. Auch die nordamerikanische *Cuscuta Gronovii* ist bei uns stellenweise völlig eingebürgert.

Die *Cuscuta*-Arten überfallen vorzüglich niedere Kräuter, Stauden und Sträucher; mehrere amerikanische Arten sollen auch die Zweige in den Wipfeln der höchsten Bäume umspinnen. Von allen diesen Arten haben einige europäische darum eine besondere Beachtung gefunden, weil sie in der Landwirtschaft großen Schaden anrichten. Die berüchtigtste ist die unter dem Namen Kleeeseide bekannte *Cuscuta Trifolii*, deren Auftreten in den Kleeefeldern den Landwirten so viel Sorge und deren Vertilgung so viel Mühe macht; ein anderer unliebsamer Gast ist *Cuscuta Epilinum*, welche die Stengel des Leines umwindet und im Wachstum hindert, und eine dritte Art, die in den Hopfenpflanzungen mitunter verheerend auftritt, ist *Cuscuta Europaea*. Diese letztere hat wohl unter allen *Cuscuta*-Arten das weiteste Verbreitungsgebiet, denn sie findet sich von England über Mitteleuropa und Zentralasien bis Japan und von Skandinavien südwärts bis Algerien. Sie bevorzugt als Wirtspflanzen neben dem Hopfen besonders die Nesseln (s. die beigeheftete Tafel „Teufelszwirn, auf Nesseln schmarozend“), schmarozt aber auch auf Holunder, Eschengebüsch und verschiedenen anderen Sträuchern und Stauden.

Die *Cuscuta*-Arten sind Schlingpflanzen, die sich mit dünnen, blattlosen Stengeln um die Wirtspflanzen herumwinden. Ihre kleinen Samen keimen auf feuchter Erde, auf feuchtem, in Verwesung übergehendem Laub oder auch auf der verwitterten Borke alter Baumstämme. Der Keimling, der im Samen in einem Nährgewebe eingebettet liegt, ist fadenförmig und spiralförmig eingerollt. Er bildet entweder einen oder anderthalb Umläufe und ist an dem einen Ende keulenförmig verdickt. Von Keimblättern ist an den *Cuscuta*-Arten keine Spur wahrzunehmen, ebensowenig findet man im Inneren des Keimlings Gefäße. Die Samen fallen im Freien auf den Boden, bleiben dort den Winter über liegen und keimen im darauffolgenden Jahr erst



Teufelszwirn, auf Nesseln Ichmarotzend.

Nach Aquarell von J. Seelos.

die Blattbildung so gut wie gar nicht mehr anzutreffen. Da aber die Blätter gerade die charakteristischen Organe der Pflanzen sind, sehen die meisten dieser Schmarozer den übrigen Pflanzen gar nicht mehr ähnlich; nur an ihren Blüten erkennt man ihren Zusammenhang mit der normalen Pflanzenwelt. Aber die Rückbildung ging noch weiter. Parasiten, die keine Blätter bilden, transpirieren wenig. Sie brauchen daher weder ein reiches Wurzelsystem zur Zuführung des Wassers, noch Leitbündel, und ihre Wurzelorgane sind ebenso verkümmert wie ihr Gefäßbündelsystem; ihr Körper zeigt kein verholztes Gewebe, sondern ist weich und biegsam.

Windende Schmarozer.

Die windenden Schmarozer ragen an Zahl unter den übrigen Pflanzen nicht hervor, aber da einige von ihnen massenhaft unsere Kulturpflanzen heimsuchen, so sind sie doch sehr bekannt. Dahin gehören die Arten der Gattung *Cuscuta*. Sie umfaßt ungefähr 50 Arten, die ziemlich gleichmäßig über die ganze Welt verteilt sind, und zwar hat jeder Weltteil sein ihm eigentümliches Formen. Eine Gruppe findet sich in Kalifornien, Carolina, Indiana, Missouri, Mexiko, eine andere in Westindien, Brasilien, Peru und Chile, eine dritte an Kap der Guten Hoffnung. Andere Arten sind in China, Ostindien, im Steppengebiet Zentralasiens, in Persien, Syrien, Ägypten und im Kaukasus zu Hause. Verhältnismäßig viel Arten (25) sind durch das mittlere und südliche Europa verbreitet. Einige sind hier vor nicht langer Zeit mit Samen aus der Neuen Welt eingeschleppt worden, wie z. B. *Cuscuta corymbosa*, mit Schneckenklee Samen aus Südamerika nach Belgien zufällig eingeführt, hat sie sich in Mitteleuropa verbreitet. Auch die nordamerikanische *Cuscuta Gronovii* ist bei uns stellenweise völlig eingebürgert.

Die *Cuscuta*-Arten überfallen vorzüglich niedere Kräuter, Stauden und Sträucher, mehrere amerikanische Arten sollen auch die Zweige in den Wipfeln der höchsten Bäume umspinnen. Von allen diesen Arten haben einige europäische darum eine besondere Beachtung gefunden, weil sie in der Landwirtschaft großen Schaden anrichten. Die berüchtigtste ist die unter dem Namen Klee-seide bekannte *Cuscuta Trifolii*, deren Auftreten in den Kleeefeldern den Landwirten so viel Sorge und deren Vertilgung so viel Mühe macht; ein anderer unliebsamer Gast ist *Cuscuta Epilinum*, welche die Stengel des Leines umwindet und im Wachstum hindert, und eine dritte Art, die in den Hopfenpflanzungen mitunter verheerend auftritt, ist *Cuscuta Europaea*. Diese letztere hat wohl unter allen *Cuscuta*-Arten das weiteste Verbreitungsgebiet, denn sie findet sich von England über Mitteleuropa und Zentralasien bis Japan und von Skandinavien südwärts bis Algerien. Sie bevorzugt als Wirtspflanzen neben dem Hopfen besonders die Nesseln (s. die beigeheftete Tafel „Teufelszwirn, auf Nesseln schmarozend“), schmarozt aber auch auf Holunder, Eschengebüsch und verschiedenen anderen Sträuchern und Stauden.

Die *Cuscuta*-Arten sind Schlingpflanzen, die sich mit dünnen, blattlosen Stengeln um die Wirtspflanzen herumwinden. Ihre kleinen Samen keimen auf feuchter Erde, auf feuchtem, in Verwesung übergehendem Laub oder auch auf der verwitterten Borke alter Baumstämme. Der Keimling, der im Samen in einem Nährgewebe eingebettet liegt, ist fadenförmig und spiralförmig eingerollt. Er bildet entweder einen oder anderthalb Umläufe und ist an dem einen Ende keulenförmig verdickt. Von Keimblättern ist an den *Cuscuta*-Arten keine Spur wahrzunehmen, ebensowenig findet man im Inneren des Keimlings Gefäße. Die Samen fallen im Freien auf den Boden, bleiben dort den Winter über liegen und keimen im darauffolgenden Jahr erst



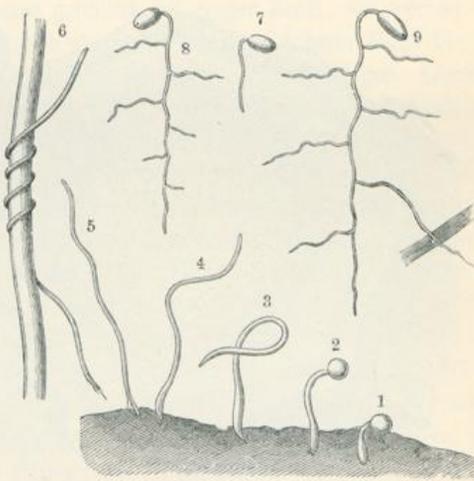
Teufelszwirn, auf Nesseln schmarotzend.

Nach Aquarell von J. Seelos.

sehr spät, wenigstens um einen Monat später als die Mehrzahl anderer Samen, welche zugleich auf denselben Boden gelangt waren. Infolgedessen haben in der Zeit, in welcher die Keimung stattfindet, die ausdauernden Stauden ihre Stengel aus den unterirdischen Wurzeln oder Rhizomen schon über die Erde emporgeschoben, was für den Schmarotzer später von großer Wichtigkeit ist. Würde er schon zeitig im Frühlinge keimen, so würde er in nächster Nähe nicht leicht eine Stütze finden, an der er sich hinaufwinden könnte, während es später an einjährigen Stengeln und an Sprossen ausdauernder Pflanzen in der unmittelbaren Umgebung nur selten fehlt.

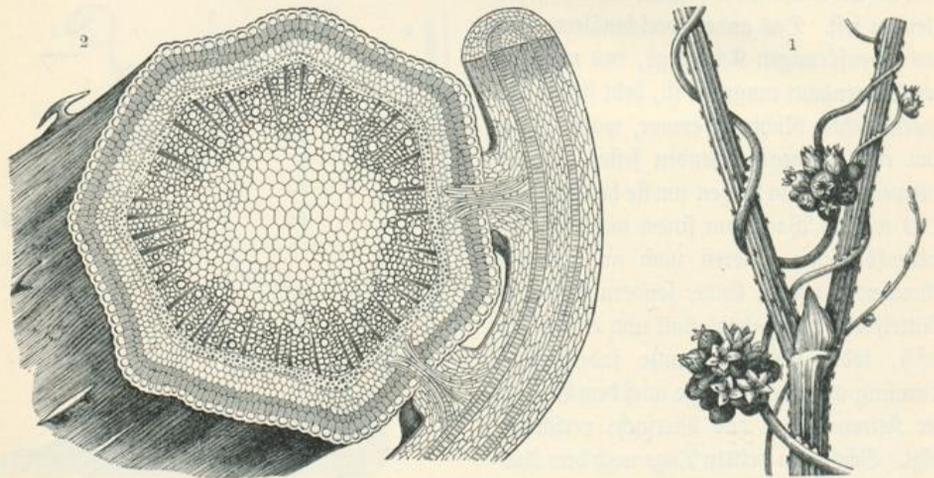
Bei der Keimung streckt sich der spirallig gerollte Keimling, dreht sich dabei nach links, erhält eine schraubenförmige Gestalt und drängt sein kolbenförmiges unteres Ende über die Samenhülle hinaus (s. die untenstehende Abbildung). Dieses wächst sofort in den Boden und haftet dort an Erdteilchen, verwelktem Laub und dergleichen fest. Das andere verschmälerte Ende des fadenförmigen Keimlings, das noch von der Samenhaut umgeben ist, hebt sich in entgegengesetzter Richtung empor, wobei es den ihm etwa entgegenstehenden festen Körpern ausweicht und im Bogen um sie herumwächst. Das weitere Wachstum findet weder an dem kolbenförmigen unteren noch an dem verschmälerten oberen Ende, sondern immer im Mittelstücke des Fadens statt und erfolgt sehr rasch, sodaß sich der ganze fadenförmige Keimling am fünften Tage nach dem Beginne der Keimung um das Vierfache verlängert zeigt. Schon am dritten Tage nach dem Austritte des kolbenförmigen, sich in der Erde befestigenden Endes wird die Samenhaut, welche bisher das entgegengesetzte Ende noch einhüllte, abgeworfen. Die Spitze des Keimlings ist jetzt entblößt; die Reservenahrung, die ihm von der Mutterpflanze als Wegzehrung mit auf die Reise gegeben wurde, ist inzwischen aufgefogon und verbraucht worden, und er ist jetzt ganz und gar auf sich, auf die Erde, an die er sich festgeklebt, und auf die umgebende Luft angewiesen. Da sich an ihm keine Spur von Spaltöffnungen findet, ist er wohl nicht imstande, Stoffe aus der Luft aufzunehmen. Auch aus der Erde kann er sich nicht mit genügender Nahrung versehen, wenn es auch nicht ausgeschlossen ist, daß er mit den Zellen des kolbenförmigen Endes Wasser dem durchfeuchteten Boden entzieht. Er wächst jetzt ohne Zweifel auf Kosten der Stoffe, welche in den Zellen seines kolbenförmigen Endes enthalten sind. Dieses beginnt alsbald zu schrumpfen und stirbt rasch ab, während der obere Teil des Fadens sich sichtlich verlängert. Ist dieser Teil der Keimpflanze inzwischen mit einer benachbarten Stütze, sei es der Stengel einer lebenden oder einer abgestorbenen Pflanze, in Berührung gekommen, so schlingt er sich sofort um dieselbe herum, und dann ist seine Zukunft in der Regel auch gesichert.

Wenn nicht, so fällt die Keimpflanze nach dem Absterben des kolbenförmigen Endes um und sinkt gegen den Boden nieder. Bei dieser Gelegenheit streift sie fast immer eine



Keimlinge schmarotzender Pflanzen: 1–6 Teufelszwirn (*Cuscuta Europaea*); 7–9 Wachtelweizen (*Melampyrum silvaticum*). (Zu S. 344 und 357.)

benachbarte Stütze und legt sich sofort mit einer Schlinge an dieselbe an. Fehlt aber ringsum jeder Halt, und kommt die junge Keimpflanze, welche zu dieser Zeit 1—2 cm lang ist, auf die nackte Erde zu liegen, so wird ihr weiteres Wachstum eingestellt. Sie erhält sich zwar unglaublich lange lebensfähig und kann, auf der feuchten Erde liegend, vier bis fünf Wochen fast unverändert verharren und gewissermaßen auf Rettung warten. Manchmal kommt auch eine solche Rettung, indem in allernächster Nähe eine andere Pflanze aufkeimt oder aus der Nachbarschaft ein wachsender Sproß sich vorstreckt und die Keimpflanze der *Cuscuta* streift. Dann erfaßt diese sofort den Rettungsanker und schlingt sich um ihn herum. Fehlt aber jede solche Stütze, so stirbt schließlich die Keimpflanze gänzlich ab, und es ist jedenfalls sehr merkwürdig, daß derselbe Faden, welcher sofort Saugwarzen entwickelt, wenn er sich an eine lebendige Pflanze angelegt hat, sie in bloßer feuchter Erde nicht bildet.



Cuscuta Europaea, auf dem Stengel des Hopfens schmarotzend. 1 in natürlicher Größe; 2 Durchschnitt durch den Hopfen- und *Cuscuta*-Stengel, an einer Stelle, wo sich der letztere an den ersteren mit Saugwarzen angelegt hat, 40fach vergrößert.

Wurde von dem fadenförmigen *Cuscuta*-Pflänzchen entweder schon zur Zeit, als sein kolbenförmiges unteres Ende noch vorhanden, oder auch später, nachdem dieses abgestorben war, irgendwelche Stütze erfaßt, so bildet es eine oder 2—4 Schlingen um dieselbe, hebt dann seine fortwachsende Spitze von der Unterlage wieder ab und bewegt sie wie den Zeiger einer Uhr im Kreise herum. Durch diese Bewegungen, welche ganz den Eindruck des Tastens und Suchens machen, kommt der Faden mit Stengeln, Zweigen und Blattstielen anderer Pflanzen in Berührung, legt sich an diese sofort an und bildet um die so erfaßte neue Stütze wieder 2—4 enge Schlingen. Dabei ist auffällig, daß diese fortwachsende Spitze der jungen *Cuscuta*-Pflanze soweit als tunlich tote Stützen verschmäht und in auffallender Weise lebende Pflanzenteile bevorzugt.

Wo sich die *Cuscuta* mit einer Schlinge der Stütze angeschmiegt hat, schwillt der Faden etwas an, es bilden sich dort Warzen, welche zu zwei, drei, vier oder fünf reihenweise nebeneinander stehen (s. obenstehende Abbildung, Fig. 1), und ein solches mit Warzen besetztes Stengelstück gleicht einer kleinen Raupe, die an dem stützenden Stengel hinaufkriecht.

Im Anfange sind die dicht aneinandergereihten Warzen oberflächlich glatt, erhalten

aber bald ein feines, geförntes Aussehen, und zwar dadurch, daß sich die Wandungen der Oberhautzellen nach außen vorwölben. Mit Hilfe dieser Papillen und vorzüglich mittels eines von diesen Papillen ausgeschiedenen Saftes heften sich die Warzen an die Unterlage an. War die Pflanze gezwungen, einen toten Körper als Stütze zu erfassen, so verflachen sich auf diesem die Warzen und gestalten sich zu einer Scheibe, die keine weitere Entwicklung zeigt und nur als Haftorgan dient; ist die Unterlage aber eine lebende Pflanze, so dringt aus der Mitte der Warze ein Bündel von Zellen heraus, das in die Unterlage direkt hineinwächst, und zwar auf ganz eigentümliche Weise. Jede Warze zeigt sofort, nachdem sie entstanden, eine Art Kern, dessen Zellen in regelmäßigen Reihen geordnet sind und zusammen mit einigen schraubig verdickten Gefäßen ein Bündel darstellen, welches zur Achse des *Cuscuta*-Stengels senkrecht steht. Dieses Bündel durchbricht nun die Hülle, die von den anderen Zellen der Warze gebildet wird, und dringt in das lebende Gewebe der angefallenen Pflanze ein (s. Abbildung, S. 358, Fig. 2). Das Eindringen geschieht mit großer Kraft. Es werden die fest zusammenschließenden Zellen der Oberhaut und nicht selten die ziemlich derbe Rinde der Wirtspflanze durchbrochen, und das Zellenbündel dringt bis in den Holzkörper vor. Einmal ins Innere der Wirtspflanze gelangt, isolieren sich die bisher bündelförmig vereinigten Zellen, treten etwas auseinander, schieben sich einzeln zwischen die Zellen des Wirtes ein und wirken jetzt sehr energisch als Saugzellen. Sie entziehen dem Wirt flüssige organische Stoffe und führen diese auf kurzem Wege zu den Strängen, die sich inzwischen in der Achse des *Cuscuta*-Stengels ausgebildet haben und dort in einem engen Kreise gruppiert sind. Ist einmal der Schmaroger so mit der Wirtspflanze verbunden, so stirbt das unterhalb der ersten Saugwarzen liegende Stück von ihm allmählich ab; das unterste, kolbenförmige Ende ist ohnedies schon zugrunde gegangen, und so steht jetzt die *Cuscuta*-Pflanze mit dem Boden, auf dem sie gefeimt hat, nicht einmal mehr in Berührung, sondern hängt und wurzelt mit ihren Saugwarzen nur noch in der lebenden Wirtspflanze. Hat sie es gut getroffen, d. h. ist sie an eine Wirtspflanze geraten, die mit ihrem grünen Laub reichlich organische Verbindungen erzeugt, z. B. an die saftreichen Stengel des Hopfens oder der Nessel, so wächst sie rasch weiter, sendet unmittelbar über der untersten Gruppe der Saugwarzen schon zahlreiche Verzweigungen aus, die auch wieder alle mit ihren Spitzen im Kreise herumtaften, neue Schlingen und Saugwarzen bilden, sich mitunter auch gegenseitig umwinden und verstricken, mit ihrem Netzwerk in immer weiterem Umkreise die Wirtspflanzen überziehen und nun den Namen „Teufelszwirn“ verdienen, den der Volksmund für diese Pflanze gewählt hat. Dann bilden sich auch an einzelnen Fäden dieses Gewirres kleine, kugelige Knäuel blasser, rosenroter Blüten (s. Abbildung, S. 358, Fig. 1) und späterhin Knäuel kleiner Kapsel Früchte aus, welche mit einem Deckel aufspringen, und aus denen die Winde die Samen ausschütteln.

Die europäischen *Cuscuta*-Arten sind sämtlich einjährig. Selbst dann, wenn sie sich mit ihren Saugwarzen an ausdauernde Pflanzen, etwa an junge Zweige von Holzgewächsen, angelegt haben, welken sie nach der Samenreife, und im nächsten Frühlinge sind höchstens noch einige verdorrte, um die Eschen- oder Weidenzweige gewundene Schlingen zu sehen. Unter der tropischen Sonne gedeihen aber auch ausdauernde Arten, wie z. B. *Cuscuta verrucosa*, bei welcher die Saugwarzen dort, wo sie den Wirt einmal angefaßt haben, mehrere Jahre hindurch in Tätigkeit sind. Wenn die mit den Saugwarzen behafteten verholzten Zweige des Wirtes in die Dike wachsen und sich dem Holzkörper, bis zu dem die Saugzellen der Warze eingedrungen waren, neue Schichten von Holzzellen auflagern, so werden von diesen die

Saugzellen der *Cuscuta* gleichsam umwallt; sie verlängern sich dann in dem Maße, als der Holzkörper des betreffenden Zweiges der Wirtspflanze an Umfang zunimmt, und man sieht dann das Bündel der von den Warzen ausgehenden Saugzellen in mehrere Jahresringe des Holzes eingelagert.

So unscheinbar eine *Cuscuta*-Pflanze mit ihrem dünnen, fadenförmigen Stengel erscheint, so ist sie doch ein rücksichtsloser, gefährlicher Schmarozer. Sie begnügt sich nicht damit, der Wirtspflanze etwas von ihren Nährstoffen zu entziehen, sondern richtet sie vollständig zugrunde. Freilich ist damit auch ihrem eigenen Fortleben ein Ziel gesetzt, aber ihr Dasein ist ohnehin nur kurz. Der Schmarozer selbst ist ja einjährig, und es genügt, wenn die Wirtspflanze so lange aushält, bis er Blüten und reife, keimfähige Samen erzeugt hat, die seine Art fortpflanzen. Wird ein ganzes Kleeefeld von den *Cuscuta*-Stengeln übersponnen, dann hat man den Eindruck, daß ein wildes Heer über die Kulturpflanze hergefallen ist und sie in wüstem Kampfe erdroffelt und vernichtet.

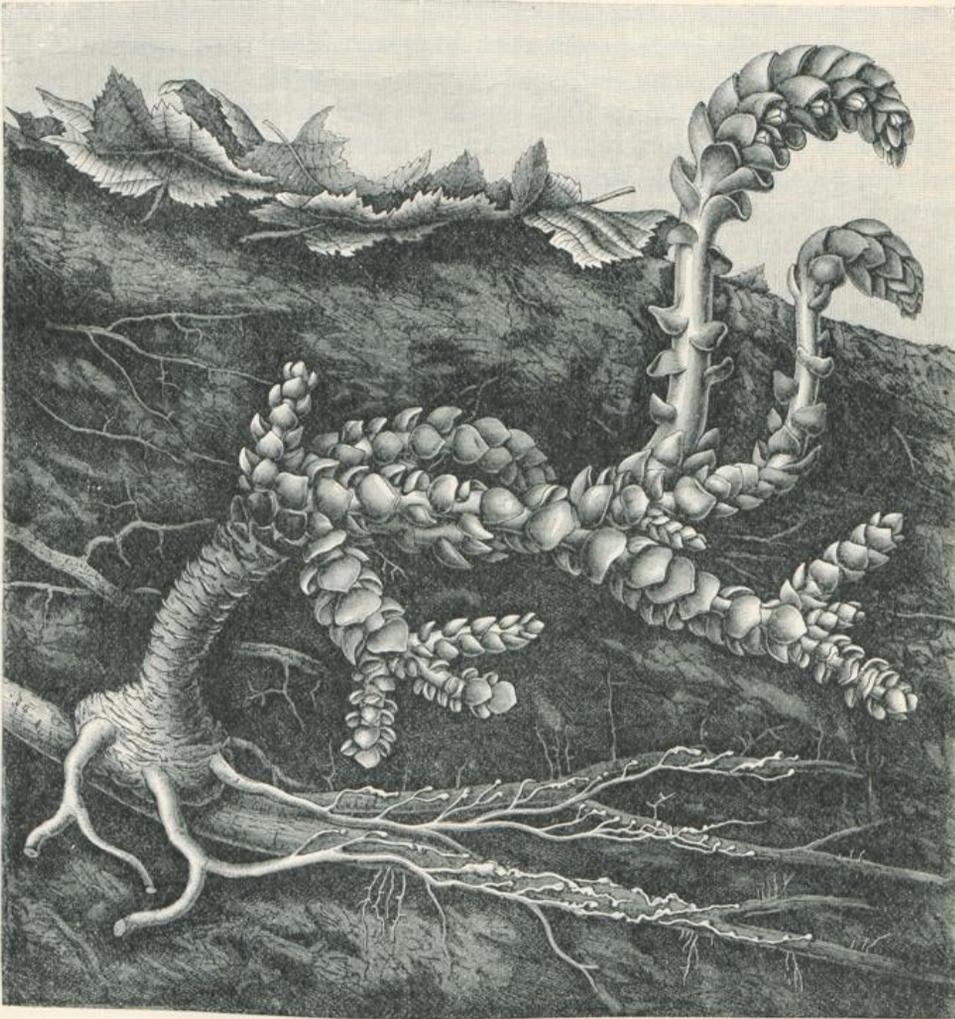
Ganz ähnlich wie die Arten der Gattung *Cuscuta* verhalten sich auch die Arten der Gattung *Cassytha*. Die meisten *Cassythen* bewohnen Australien, wo sie besonders die Gebüsche der *Rafuarineen* und *Melaleuken* überfallen und sich an deren jungen, grünen Zweigen mit den warzenförmigen, in manchen Fällen auch schild- und scheibenförmigen Saugvorrichtungen anlegen. Mehrere Arten sind auf Neuseeland, andere auf Borneo, Java, Ceylon, den Philippinen und Molukken zu Hause. Auch Südafrika beherbergt einige *Cassythen*, und eine Art (*Cassytha Americana*) ist über die westindischen Inseln, Mexiko und Brasilien verbreitet. Wenn der Europäer diese Schmarozer mit ihren fadenförmigen, windenden, der grünen Laubblätter entbehrenden Stengeln und den zu Köpfchen, Dolden und Ähren vereinigten Blüten sieht, so hält er sie zuerst für Arten der eben besprochenen Gattung *Kleeferde* (*Cuscuta*). Am allerwenigsten möchte man glauben, in diesen *Cassythen* Gewächse vor sich zu haben, welche mit den Lorbeerbäumen zunächst verwandt sind. Die Untersuchung der Blüten und Früchte zeigt nun allerdings die größte Übereinstimmung mit den Lorbeer- und Zimt-bäumen.

Auch bei den *Cassythen* ist der Keimling, der aus dem Samen hervorkommt, fadenförmig und lebt anfänglich auf Kosten der innerhalb der Samenhaut aufgespeicherten Reservahrung, wächst in die Höhe, verzweigt sich und sucht durch drehende Bewegungen seines oberen Endes eine lebende Stütze zu erreichen, um welche er sich herumschlingt, und die er dann als Nährboden benutzt. Hier wie dort bilden sich an den Stellen, wo die Schlingen des fadenförmigen Stengels fest an der lebendigen Stütze anliegen, reihenförmig geordnete Warzen, aus deren Mitte ein Bündel von Saugzellen in die Wirtspflanze hineinwächst; hier wie dort vertrocknet alsbald das untere Ende des fadenförmigen Stengels, wodurch die Verbindung mit der Erde unterbrochen ist; hier wie dort kann der einmal mit seinen Saugwarzen an den Wirt angeheftete Schmarozer sich vielfach verzweigen, mit seinen fadenähnlichen Stengeln alle Äste des Wirtes umspinnen und, wenn der Wirt ein hoher Busch ist, selbst bis in die Wipfel der Krone emporklettern und stellenweise alles so verstricken, daß man dort das Nest eines Vogels in dem Gezweige zu sehen vermeint.

Die Schuppenwurz.

Eine weitere Reihe schmarozer Samenpflanzen lebt im Gegensatz zu den oberirdisch und ganz ohne Wurzel wachsenden *Kuskuten* in der Hauptsache unterirdisch. Die hierher gehörenden Arten haben gleichfalls kein Chlorophyll, schmarozen auf den Wurzeln von

Bäumen und Sträuchern, entwickeln zahlreiche, unterirdische, dicht beschuppte, blütenlose, ausdauernde Sprosse und neben diesen alljährlich auch über die Erde an das Licht emporgewachsene Stengel, welche blühen, fruchten und keimfähige Samen zur Reife bringen und nach dem Ausfallen dieser Samen absterben.



Die Schuppenwurz (*Lathraea Squamaria*), mit Saugwarzen an Pappelwurzeln schmarogend.

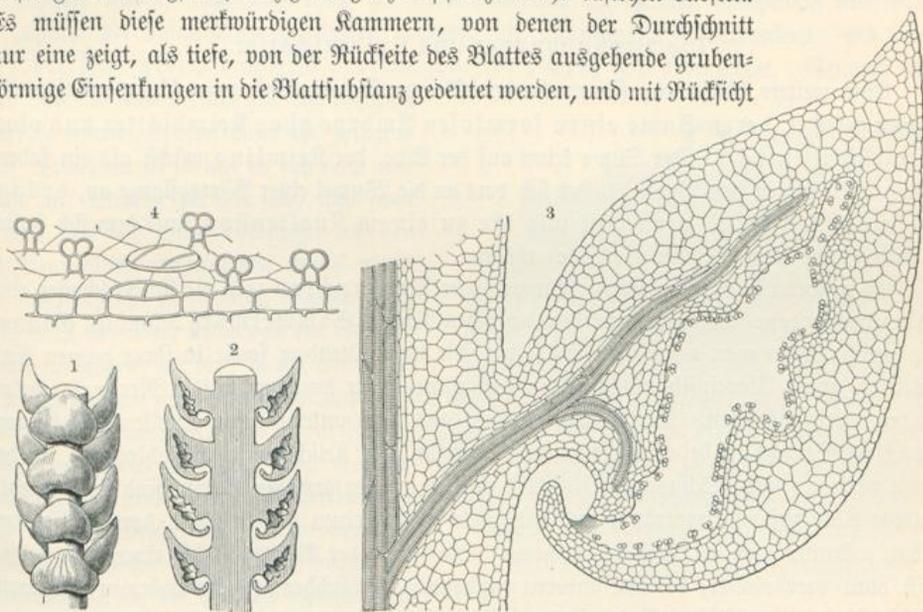
Als der bekannteste Vertreter kann die oben abgebildete Schuppenwurz (*Lathraea Squamaria*) gelten, welche zu den schon oben besprochenen Rhinantazeen gehört. Ihr Same keimt auf der feuchten Erde; das Würzelchen des Keimlings, das anfänglich auf Kosten der im Samen aufgespeicherten Reservestoffe wächst, bringt senkrecht in die Tiefe und sendet seitliche Verzweigungen aus, die wie die Hauptwurzel einen schlängeligen Verlauf nehmen und in feuchtem, lockerem Erdboden förmlich nach einem geeigneten Nährboden suchen. Treffen

sie auf die lebende Wurzel einer Eiche, Erle, Kiefer, Pappel, Hainbuche, Hasel oder sonst irgendeines anderen Laubholzes, so legen sie sich an diese sofort an und entwickeln an den Berührungsstellen Saugwarzen, welche anfänglich die Gestalt kugeligter Knöpfchen besitzen und beim Wachsen zwar verschiedene Formen annehmen, immer aber mit der einen abgeplatteten Seite der Wurzel des Wirtes aufsitzen. Eine Pflanze bildet Tausende solcher Saugwarzen, die sich mittels einer klebrigen Substanz der äußersten Zellschicht der überfallenen Wurzel anheften. Wie bei den vorhergehend besprochenen Schmarozern, wächst auch hier aus dem Kerne der Saugwarze ein Bündel von Saugzellen in die Wurzel der Wirtspflanze hinein, so daß ihre Enden bis zum Holze der Wurzel gelangen. Das Stengelende der Keimpflanze, durch diese Verbindung mit den Säften der Wirtspflanze ernährt, wächst nun heran, verlängert sich, entwickelt dicke, fleischige, weiße, schuppenförmige, dicht übereinanderliegende Blätter und erhält so das Ansehen eines geöffneten Fichtenzapfens. Das untere Ende an der Grenze des Rhizoms und der ersten Wurzel ist stark angeschwollen und der Ursprungsort einer Menge von neuen Wurzeln, die allmählich ein weitverzweigtes Geflecht im Boden bilden (in der Abbildung sind der Klarheit wegen nur einige Wurzeln gezeichnet, die anderen abgeschnitten dargestellt). Die schuppigen Stengel verzweigen sich ebenfalls unterirdisch, und so entsteht allmählich ein wunderliches Gebilde von sich kreuzenden und verschränkenden, weiß beschuppten, zapfenähnlichen Sprossen, welches die Nischen und Schlingen zwischen den holzigen Wurzeln der befallenen Laubbäume ganz erfüllt. Stöcke im Umfange von 1 qdm und einem Gewichte von 5 kg sind keine Seltenheit. Von den beschuppten unterirdischen Sprossen erheben sich über die Erde die Blütenstände, deren Spindel anfänglich hakenförmig gekrümmt ist, aber bis zur Fruchtreife sich gerade emporstreckt. Während die unterirdischen Teile weiß wie Elfenbein sind, zeigen die über die Erde emporgehobenen Blüten und Deckblätter eine violett-röthliche Farbe. Die zuerst aus dem Keimling hervorgegangenen Wurzeln und deren Saugwarzen genügen einem so umfangreichen Stöcke längst nicht mehr zur Gewinnung der nötigen Nahrung, und es entstehen daher jährlich auch Nebenwurzeln, welche gegen die holzigen, lebendigen, fingerdicken Wurzeläste des angefallenen Baumes oder Strauches hinwachsen.

Die auf S. 361 abgebildete *Lathraea Squamaria* ist in Europa und Asien heimisch, und ihr Verbreitungsgebiet erstreckt sich von England ostwärts bis in den Himalaja und von Schweden südwärts bis Sizilien. Zwei Arten sind auf den Orient, die Krim und den Balkan beschränkt, und eine weitere, durch schöne blaue, nur wenig über die Erde emporgehobene Blüten ausgezeichnete Schuppenwurz (*Lathraea clandestina*) ist im westlichen und südlichen Europa von Flandern durch Frankreich nach Spanien und Italien verbreitet. Diese ist dadurch ausgezeichnet, daß sie an ihren gelben, federfeldicken Wurzeln scheibenförmige Saugwarzen nahezu von der Größe einer Linse ausbildet, die größten Saugwarzen, welche bisher an irgendeiner schmarozenden Pflanze beobachtet wurden.

Der Blattbau der *Lathraea* ist höchst merkwürdig. In Farbe und Konsistenz stimmen die Blätter mit dem Stengel überein. Ihr Umriß ist breit-herzförmig, und sie scheinen mit dem gedunsenen breiten Ende dem Stengel angewachsen (s. Abbildung, S. 363, Fig. 1). Tatsächlich ist die Form des Blattes oder der Schuppe aber eine ganz andere. Wie der auf S. 363 abgebildete Durchschnitt durch eine Schuppe (Fig. 3) erkennen läßt, ist sie nämlich hohl. Diese Höhlung entsteht aber dadurch, daß die obere Hälfte des Blattes bei seiner Entwicklung sich nach rückwärts scharf umgebogen hat, wie wenn man ein Blatt Papier scharf umknickt. Die eigentliche Blattspitze liegt nun unten, dicht neben dem Stengel. Die scheinbare

Blattspitze aber ist nur die Kante der Knickung, und was man für die Rückseite des Blattes hält, ist ein Teil der Oberseite. Die Folge dieses sonderbaren Wachstumes ist die Entstehung der Höhlung, die aber nicht ganz geschlossen wird, sondern durch einen Kanal hinter dem umgerollten Blattrande geöffnet ist. Dieser Blattrand bildet dicht am Stengel eine Hohlkehle, welche da, wo sich das Blatt an den Stengel ansetzt, quer herumläuft (s. untenstehende Abbildung, Fig. 2). In diese Hohlkehle münden nun mittels einer Reihe von kleinen Löchern 5—13 (meistens 10) Kammern, welche die dicken Schuppenblätter aushöhlen, und die, in dieser Form wenigstens, einzig im ganzen Pflanzenreiche dastehen dürften. Es müssen diese merkwürdigen Kammern, von denen der Durchschnitt nur eine zeigt, als tiefe, von der Rückseite des Blattes ausgehende grubenförmige Einsenkungen in die Blattsubstanz gedeutet werden, und mit Rücksicht



Blattbildung bei der Schuppenwurz: 1 Stück eines unterirdischen beblätterten Sprosses, 2 Längsschnitt durch ein Sprossstück, 2fach vergrößert, 3 Längsschnitt durch ein Blatt, 60fach vergrößert, 4 Stück der Wand einer Höhlung, 200fach vergrößert.

auf die zu erörternde Frage nach der Bedeutung derselben ist es von Wichtigkeit, sie mit Hilfe der obenstehenden Abbildungen etwas näher zu erläutern.

Sie stehen, wie schon erwähnt, zu 5—13 dicht nebeneinander, sind aber seitlich nicht verbunden; alle sind höher als breit und mit unregelmäßig wellig gebogenen Wandungen versehen (s. obenstehende Abbildung, Fig. 3). An ihren Innenwänden fallen zunächst zweierlei Drüsen auf, welche, über die gewöhnlichen Oberhautzellen sich erhebend, in den Hohlraum hineinragen. Die einen bestehen aus einer kurzen Stielzelle mit einem köpfsförmigen Zellenpaar (Fig. 3 und 4). Die anderen, welche viel spärlicher sind und an den Falten der Innenwand ganz fehlen, ragen linsenförmig kaum über die Epidermis hervor und bestehen aus vier parallelen Zellen mit einem kleinen Loch in der Kutikula der mittleren Zellen (Fig. 4).

Über die Bedeutung dieser merkwürdig gestalteten Höhlungen in den Blattschuppen läßt sich Sicheres nicht angeben. Es kriechen sehr oft kleine Milben, Aphis-Arten, Poduren und andere Tierchen in die Höhlungen und gehen dort, wie die Reste von Haaren, Beinschienen, Borsten und formlose braune Klümpchen zeigen, zugrunde. Da sich auch Bakterien in den Höhlungen ansiedeln, so entstehen aus den Tierleichen Fäulnisprodukte, von denen aber nicht

feststeht, daß sie von dem Schmarozer aufgenommen werden. Mehrere Forscher erblicken in den Drüsen der Höhlungen wasserausscheidende Organe (Hydathoden). Da *Lathraea* häufig in feuchten und nassen Gründen wächst, so wäre es möglich, daß sie in die Höhlungen hinein ein Übermaß von Wasser abscheidet, da ihre Schuppen unter dem Boden nicht transpirieren können. Dann würde sich erklären, daß kleine Insekten, die sich in die Höhlungen verkriechen wollen, hier ertrinken. Daß die Höhlungen nicht mit dem Schmarozer zusammenhängen, ergibt sich vielleicht daraus, daß auch eine Verwandte der *Lathraea*, die *Bartschia alpina* (S. 346), mit Drüsen versehene Höhlungen in ihren Blättern besitzt. Sie ist ein grüner Halbschmarozer.

Die Braunschupper und Kolbenschoffer.

Eine weitere Reihe der schmarozenden Samenpflanzen wird von Chlorophyllosen Gewächsen gebildet, deren Same einen formlosen Embryo ohne Keimblätter und ohne Würzelchen enthält. Der Same keimt auf der Erde, der Keimling wächst als ein fadenförmiger Körper in den Boden, heftet sich dort an die Wurzel einer Wirtspflanze an, drängt sich in diese ein und verwächst mit ihr zu einem Knollenstock, aus dem sich später blütentragende Stengel über die Erde erheben.

Es gehören hierher die Braunschupper oder Drobancheen und die Kolbenschoffer oder Balanophoreen. Von der unter dem deutschen Namen Sommerwurz bekannten Gattung *Orobanche* kennt man ungefähr 180 Arten, die im Blütenbau sowie in ihrer ganzen Entwicklung große Übereinstimmung zeigen und zumeist nur durch minutiöse Merkmale unterschieden werden können. Der blütentragende, aus dem unterirdischen Knollenstocke hervorgewachsene Stengel ist bei allen Arten steif, aufrecht, dick, fleischig und mit zahlreichen, an der Spitze vertrocknenden Schuppen besetzt; die offenen, rachenförmigen Blüten sind in eine endständige Ahre zusammengedrängt und entwickeln häufig einen starken Duft, der an Gewürznelken, mitunter auch an Veilchen, erinnert. Die Farbe der Blüten ist bei einer Gruppe zumeist blau oder violett, bei den anderen wachsgelb, gelblichbraun, schwarzbraun, rosenrot, fleischfarbig oder weißlich. Einige Arten besitzen Stengel, welche die Höhe eines Meters erreichen und fast armdick werden. Die bekannteste Art ist der Hanfwürger (*Orobanche ramosa*), der auf den Wurzeln der Hanf- und Tabakspflanze schmarozt und sehr weit verbreitet ist. Bei allen Arten ragt der Stengel nur zum Teil über die Erde empor, sein unterirdischer Teil, welcher der Wurzel einer Wirtspflanze aufsitzt, ist oberhalb der Stelle der Anheftung meistens aufgetrieben und stark verdickt. Auch die Wurzel der Nährpflanze ist dort, wo sich eine schmarozende *Orobanche* angesiedelt hat, gewöhnlich etwas angeschwollen und zeigt mitunter eine unregelmäßige Wucherung, die den Anheftungspunkt der *Orobanche* schalenförmig umwallt. Außerhalb der Anheftungsstelle des Schmarozers ist die Wurzel der Wirtspflanze häufig wie abgebissen, was davon herrührt, daß dieses Stück durch den Angriff des Schmarozers getötet und zerstört wurde.

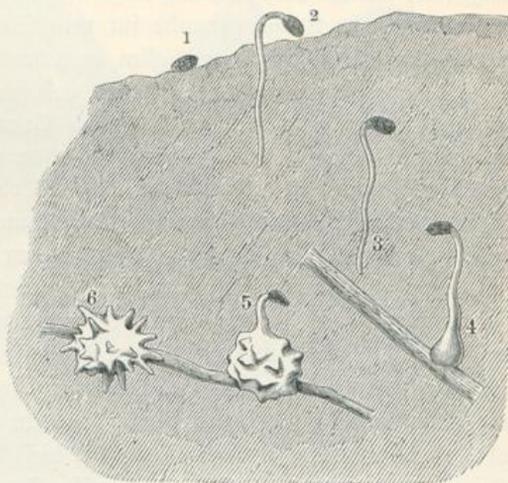
Die Ansiedelung der schmarozenden Drobancheen auf den Wurzeln der Wirtspflanzen findet in folgender Weise statt. Der Embryo, der in dem sehr kleinen Samen eingebettet liegt, zeigt keine Spur einer Gliederung in Wurzel und Stengel, er besitzt auch keine Keimblätter, sondern besteht nur aus einer Gruppe von Zellen, die wieder von anderen mit Reservahrung erfüllten Zellen umgeben ist. Auch wenn dieser Embryo aus dem Samen hervorzunächst, wobei er die Reservahrung aufzehrt, zeigt er keinen Unterschied zwischen Wurzel, Stengel und Blättchen, sondern bildet einen schlangenförmig gewundenen Faden, der noch

immer aus dünnen, zarten Zellen zusammengesetzt ist. An dem einen Ende ist diese fadenförmige Keimpflanze noch mit der Samenhaut wie von einer dunkeln Mütze bedeckt (s. untenstehende Abbildung, Fig. 2), und dieses Ende kann man wohl als das Stengelende bezeichnen, so wie man das entgegengesetzte Ende als Wurzelende auffassen mag. Wie die fadenförmige Keimpflanze des Teufelszwirnes (*Cuscuta*) nach aufwärts, so streckt sich die der Sommerwurz nach abwärts. Dabei folgt die abwärts wachsende Spitze einer Schraubenlinie und sucht gewissermaßen in der Erde nach der Wurzel einer passenden Wirtspflanze. Ist ihr Suchen vergeblich, und ist inzwischen auch die Reservenernährung im Samen vollständig aufgezehrt, so beginnt die Keimpflanze zu welken, bräunt sich, schrumpft und vertrocknet. Es fehlt ihr die Fähigkeit, sich aus der umgebenden Erde zu ernähren. Gelangt aber

das tastende untere Ende der Keimpflanze auf die lebende Wurzel einer ihr zuzugenden Wirtspflanze, so legt es sich nicht nur dicht an, sondern verdickt sich, und zwar derart, daß das junge Pflänzchen jetzt den Eindruck einer umgekehrten Keule macht (s. nebenstehende Abbildung, Fig. 4). Noch immer ist das obere Ende von der Samenschale umgeben; in dem Maße aber, als das untere Ende sich verdickt, schrumpft der obere Teil zusammen, und es ist schließlich keine Spur desselben mehr wahrzunehmen. Der verdickte Teil dagegen, welcher sich an die Wurzel des Wirtes angelegt hat, ist inzwischen knotig und warzig geworden (Fig. 5); die Warzen wachsen teilweise in verlängerte Zapfen aus, und nun

steht die junge Pflanze der Sommerwurz in Gestalt eines Streitkolbens der Nährwurzel auf (s. obenstehende Abbildung, Fig. 6). An der Anheftungsstelle hat sich einer der Zapfen in die Wurzelrinde eingesenkt und wächst hier, alle Zellen der Rinde auseinander drängend, mit großer Kraft einwärts, bis er den Holzkörper der Nährwurzel erreicht. Im Kumpfe der streitkolbenähnlichen jungen Pflanze entstehen nun auch Gefäße, welche, die Mitte des in die Wirtspflanzenwurzel eingekleideten Zapfens durchgehend, mit den Gefäßen in der Wurzel des Wirtes in Verbindung treten. Gegenüber der Verbindungsstelle von Wirt und Schmarotzer aber bildet sich eine Knospe aus, die am besten mit der Zwiebel einer weißen Lilie verglichen werden könnte. Aus dieser reichbeschuptionen Knospe wächst dann endlich der kräftige, dicke Stengel hervor, der die Erde durchbricht und die Blütenähre an das Sonnenlicht emporhebt.

Das in die Wurzel der Wirtspflanze eingesenkte Stück der Sommerwurz ist mit den einzelnen Teilen dieser Wurzel zu einem Knollenstocke so innig verwachsen, daß es meist schwierig ist, festzustellen, welche Zellen dem Schmarotzer, welche dem Wirt angehören. Das geht so weit, daß man nicht einmal mit Sicherheit angeben kann, wo die Oberhaut der Nährwurzel aufhört und die Oberhaut der Sommerwurz anfängt. Die Sommerwurz macht ganz und gar den Eindruck, als wäre sie ein Ast, der aus der angefallenen Wurzel hervorgewachsen



Entwicklung des Keimlings der Sommerwurz (Orobanchaceae Epithymum).

ist, und es wird bei dem Anblicke dieser Verbindung erklärlich, wie ältere Botaniker, welche die Entwicklungsgeschichte dieser Schmarotzer nicht kannten, auf den Einfall kommen konnten, sie seien gar nicht aus Samen hervorgegangen, sondern krankhafte Auswüchse der zur Unterlage dienenden Wurzel, entstanden aus verdorbenen Säften derselben, „Pseudomorphosen“, welche an Stelle belaubter Zweige aus der kranken Wurzel hervorsprossen.

Es verdient noch erwähnt zu werden, daß auch einzelne der dicken, fleischigen Fasern, welche seitlich aus der knotigen, einem Streitkolben ähnlichen jungen Pflanze hervorgehen, sich gegen die Wurzel des Wirtes hin krümmen, mit der Spitze in die Rinde eindringen und sich dann ganz ähnlich verhalten wie jener Zapfen, welcher sich an dem ersten Anheftungspunkte der Keimpflanze einkeilt. Ob die anderen, frei in der Erde endigenden Fasern befähigt sind, aus der Erde Nahrung aufzunehmen, ob sie nur bei den mehrjährigen Arten vorkommen und zum Ausgangspunkte für neue Stöcke werden, und ob sie als Wurzel- oder Stengelgebilde aufgefaßt werden sollen, mag dahingestellt bleiben.

Sehr beachtenswert ist es übrigens, daß sich von vielen Braunschuppen nur diejenigen Keimlinge weiter entwickeln, welche an die ihnen zuzugende Wirtspflanze gelangen. Wenn auch nicht jede Spezies von Orobanche nur an eine einzige Pflanzenart als Ernährerin gebunden erscheint, so ist doch so viel gewiß, daß die meisten unter ihnen nur auf einem ziemlich beschränkten Artenkreise gedeihen, die eine nur auf dem Esen, die andere nur auf Bermut-, die dritte nur auf Pestwurz-, die vierte nur auf Gamanderarten. Orobanche Teucrui z. B. kommt zwar auf verschiedenen Arten der Gattung *Teucrium* (*Teucrium Chamaedrys*, *Teucrium montanum* usw.), aber doch immer nur auf Arten dieser Gattung vor. Man denke sich nun einen dicht mit Pflanzen überzogenen Hügel, auf dem *Teucrium montanum* in Gesellschaft von Thymian, Sonnenröschen, Kugelblumen, Seggen und Gräsern nicht gerade häufig wächst, so daß nur hier und da ein Stod dieser Pflanze steht; an einer Stelle habe sich Orobanche Teucrui eingenistet, diese sei zur Blüte gelangt, habe Früchte ausgebildet, und der Wind schüttele aus den reifen Fruchtkapseln die winzigen Samen heraus. Bei der außerordentlichen Kleinheit und Leichtigkeit der Schuppenwurfsamen wird jeder Windstoß unzählige derselben über den ganzen Hügel und noch darüber hinaus ausstreuen. Nun kommt es zum Keimen. Aus den Samen sprossen in der oben angegebenen Weise die fadenförmigen Keimlinge hervor und dringen in die Erde ein. Bei dem zerstreuten Vorkommen des *Teucrium montanum* auf dem betrachteten Hügel werden nur verhältnismäßig wenige Keimpflänzchen an die Wurzeln des *Teucrium montanum*, dagegen viele Tausende an die Wurzeln des Thymians, der Sonnenröschen, Kugelblumen, Seggen und Gräser stoßen. Aber wie merkwürdig: nur jene Keimpflanzen der Orobanche Teucrui, welche mit den Wurzeln des *Teucrium montanum* in Berührung kommen, setzen sich fest, dringen ein und entwickeln sich weiter, jene, welche an die Wurzeln des Thymians und der anderen genannten Pflanzen gelangen, gehen zugrunde. Diese Erscheinung läßt sich kaum anders als durch die Annahme erklären, daß nur die Wurzeln des *Teucrium montanum* vermöge ihres eigentümlichen Baues und ihres Gehaltes an bestimmten Stoffen für die Keimpflanzen der Orobanche Teucrui einen geeigneten Nährboden und einen Anziehungspunkt abgeben, nicht aber auch die Wurzeln des Thymians, der Sonnenröschen und der übrigen mit dem *Teucrium montanum* gesellig auf dem Hügel wachsenden Pflanzen.

Während die Braunschupper eine Pflanzenfamilie bilden, deren Arten zwar sehr zahlreich, aber in ihrem Blüten- und Fruchtbau, in ihrer Entwicklungsgeschichte und in ihrem

ganzen Gepräge einander so ähnlich sind, daß man nach kleinlichen Unterscheidungsmerkmalen suchen muß, um sie halbwegs übersichtlich in Gruppen zusammenstellen zu können, verhalten sich die Balanophoreen gerade umgekehrt. Man kennt nämlich von ihnen nur vierzig Arten, diese sind aber so sehr abweichend, daß auf Grund der auffallendsten Verschiedenheiten nicht weniger als vierzehn Gattungen unterschieden wurden, unter die sich diese vierzig Arten ziemlich gleichmäßig verteilen. Sie finden sich nur in einem die Alte und die Neue Welt umspannenden Gürtel, der nord- und südwärts über die Wendekreise wenig hinausreicht, sind also echte Tropenpflanzen, und fast alle bewohnen die düsteren Gründe der Urwälder, wo sie auf den mit Dammerde bedeckten Wurzeln von Holzgewächsen schmarozgen.



Langsdorffia hypogaea, aus Zentralamerika.

Ausschließlich auf das tropische Amerika beschränkt ist die Balanophorengattung *Langsdorffia*. Eine Art derselben (*Langsdorffia Moritziana*) ist in den feuchten Wäldern von Venezuela und Kolumbien zu Hause, wo sie auf den Wurzeln von Palmen und Feigenbäumen schmarozt; eine zweite Art (*Langsdorffia rubiginosa*) findet sich in Guayana und Brasilien, namentlich im Quellgebiete des Orinoko, und die dritte, die häufigste von allen (*Langsdorffia hypogaea*), von der oben eine Abbildung eingeschaltet ist, erstreckt ihren Verbreitungsbezirk von Mexiko bis in das südliche Brasilien. Alle fliehen sie die heißen Niederungen und halten sich mehr in den kühleren Regionen auf; die zuerst genannte Art wurde sogar noch in dem Höhengürtel von 2000 bis 3000 m gefunden.

Von Stengeln und Blättern findet sich nichts bei diesen Pflanzen, sie bilden einen zylinderförmigen, an der Nährwurzel aufsteigenden ästigen Strunk, welcher außen mehr oder weniger filzig ist und der, wenn er noch keine Blüten getrieben hat, entfernt an das im Winter mit flaumiger Haut überzogene Geweih eines Rehens erinnert. Diese Strünke haben eine bläßgelbe Farbe oder sind mit rostgelben Samthaaren bedeckt; sie besitzen fast die Dicke eines

kleinen Fingers, sind schlängelförmig gekrümmt, fleischig und dort, wo sie der Wurzel der Wirtspflanze aufsitzen, kolbenförmig verdickt.

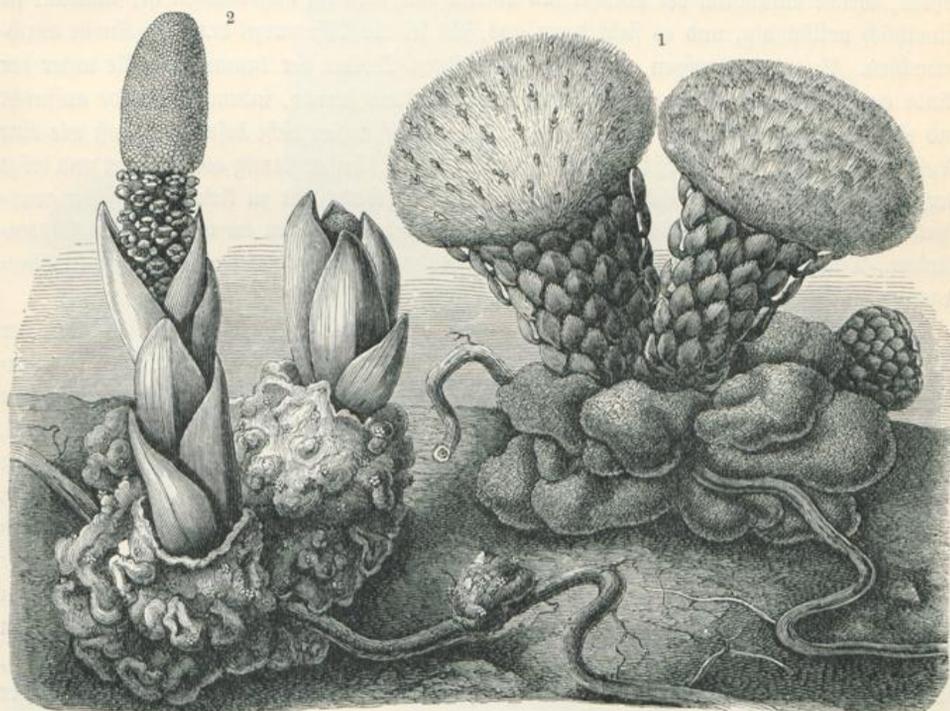
Am Ende jeder Verzweigung des Strunkes entwickelt sich früher oder später in der unteren Rindenschicht eine Knospe. Diese vergrößert sich allmählich, sprengt die äußere Schicht der Rinde in vier Lappen, hebt diese empor und wächst zwischen ihnen als Blütenstand heraus. Der Blütenstand ist, ähnlich dem Köpfchen eines Korbblütlers, mit dachziegelförmigen Schuppen rings umgeben, welche unten kürzer und breiter, oben länger, schmaler und spitz sind. Da diese Schuppen starr, etwas glänzend, wachsgelb bis orange oder auch etwas rötlich angehaucht und bei *Langsdorffia Moritziana* braunrot sind, so erinnert der ganze Blütenstand lebhaft an gewisse großköpfige Immortellen, welche im Kaplande heimisch sind. Die Blütenstände sind verschieden, die einen tragen nur männliche, die anderen nur weibliche Blüten; diejenigen, welche nur Pollenblüten tragen, sind verlängert und eiförmig, jene, welche nur Fruchtblüten besitzen, kürzer, fast kugelig und köpfchenförmig. Die aus den nußartigen, innen breiten Früchtchen ausfallenden Samen besitzen keine besondere Samenhaut, der Keimling zeigt keine Spur von Keimblättern oder Würzelchen, sondern besteht aus einer Zellengruppe, die nicht gegliedert ist und mit einem winzigen Knöllchen verglichen werden kann.

Wenn solche Samen, die sich bei der Keimung ähnlich wie jene der Schuppenwurz verhalten, an eine zufagende Wurzel eines Baumes oder Strauches gelangen, so wachsen sie zu größeren Knöllchen heran und üben auf die Unterlage einen merkwürdigen Einfluß aus. Die Rinde der Wurzel wird dort, wo das Knöllchen anliegt, zerstört, das Holz der Wurzel aber wird aufgeblättert, zerklüftet und zerfasert, die Holzbündel werden aus der bisher eingenommenen Richtung gebracht und so abgelenkt, daß sie sich gegen das schmarozende Knöllchen, das inzwischen zu einem Knollen herangewachsen ist, erheben und fächerförmig verteilen; die Zellen und Gefäße des Schmarozers drängen sich zwischen die emporgewachsenen Holzfasern ein, und es entsteht so an der Verbindungsstelle des Parasiten und der Wurzel eine Zone, in der sich Zellen und Gefäße des einen und anderen verflechten, durchsetzen, aneinanderketten und auf das innigste miteinander verwachsen, ganz ähnlich, wie es sich bei den Sommerwurzararten vollzieht. Auch dann, wenn einer der schlängelförmig gekrümmten Strünke der *Langsdorffia* mit einer geeigneten Wurzel in Berührung kommt, spielt sich Ähnliches ab, und es findet auf diese Weise eine so innige Verwachsung statt, daß man den Strunk der *Langsdorffia* für einen Ast der ihn ernährenden Wurzel der Wirtspflanze halten könnte. Dort, wo ein schon ausgewachsener Strunk der *Langsdorffia* sich angeheftet hat, fällt die Austreibung des Gewebes an der Verbindungsstelle nicht sehr auf; wo dagegen der Stoc der *Langsdorffia* aus Samen hervorgegangen ist, erscheint die Basis jedes Strunkes wie eine Keule verdickt. Anfänglich haftet der Schmarozer mit dieser verdickten Basis nur einseitig an der nährenden Wurzel, später aber umwallt er sie an beiden Seiten und liegt ihr wie der Sattel dem Rücken des Pferdes auf.

Zwischen den zu Bündeln gruppierten Zellen und Gefäßen des *Langsdorffia*-Strunkes finden sich Gänge, die mit einer eigentümlichen, Balanophorin genannten wachsartigen Masse erfüllt sind. Die Menge dieses Stoffes ist so groß, daß Strünke der *Langsdorffia*, an einem Ende angezündet, wie kleine Wachsfackeln brennen. In der Gegend von Bogotá werden sie daher gesammelt, unter dem Namen Siejós verkauft und an festlichen Tagen zu Beleuchtungszwecken verwendet. In Kolumbien wurden sie auch zur Erzeugung von Kerzen benutzt, doch ist diese Quelle von Wachs jedenfalls viel zu wenig ergiebig, als daß an eine

Ausnutzung und Verwertung im großen Maßstabe gedacht werden könnte; immerhin aber zeigt diese Art der Verwendung, daß der in Rede stehende Parasit in manchen Landstrichen Südamerikas in großer Menge vorkommt.

Bei weitem seltener als die schmarozenden Langsdorffien sind die Arten der Gattung *Scybalium*. Auch sie sind auf die äquatoriale Zone Amerikas beschränkt. Zwei Arten, nämlich *Scybalium Glaziovii* und *depressum*, gedeihen im höheren Bergland, und zwar die eine nur im Hochgebirge von Kolumbien; zwei andere Arten, *Scybalium jamaicense* und *fungiforme*, sind dagegen Bewohner der Wälder und Savannen tieferer Regionen. Wer das



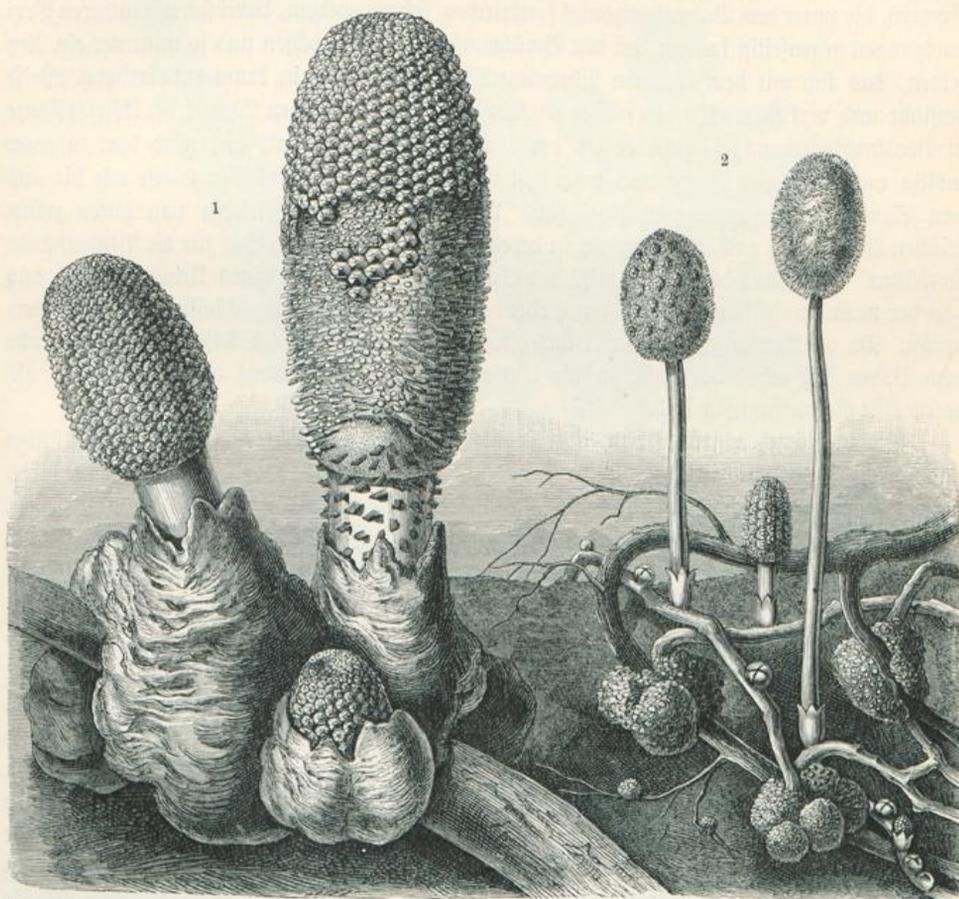
Schmarozende Roibenstöcker: 1 *Scybalium fungiforme*, aus Brasilien; 2 *Balanophora Hildenbrandii*, von den Komoren.

zuletzt genannte *Scybalium* im Grunde der Urwälder wachsen sieht, ist versucht, dasselbe für einen Pilz zu halten, und es ist begreiflich, daß der erste Entdecker die Bezeichnung *fungiforme* für diese Form gewählt hat. Die obenstehende Abbildung dieses ebenso wunderlichen als seltenen Gewächses, welche nach den von Schott im Jahre 1820 zuerst in der Serra d'Estrella in Brasilien entdeckten und von dort nach Wien mitgebrachten Exemplaren angefertigt ist, zeigt, daß hier an Stelle des verlängerten, schlängelförmig gekrümmten und verzweigten Strunkes, wie er die Langsdorffien auszeichnet, eine klumpige, knollenartige Masse der Wurzel der Wirtspflanze aufsitzt. Diese Knolle ist bald rundlich, bald scheibenförmig zusammengedrückt, knotig, manchmal auch unregelmäßig gelappt und wächst bis zur Größe einer Faust heran. Sie entwickelt sich aus dem Samen, der auch hier ein unvollkommenes zelliges Gebilde darstellt, das weder einen mit Keimblättern und Würzelchen versehenen Keimling noch eine Samenhaut besitzt und am besten mit einem winzigen Knöllchen verglichen werden

kann. Der Keimling, auf die lebende Wurzel einer Holzpflanze gelangt, nimmt an Umfang zu, erreicht die Größe einer Erbse und übt auf die als Nährboden gewählten Wurzeln des Wirtes einen ganz ähnlichen Einfluß aus, wie er von Langsdorffia beschrieben ist. Die vom Holze der Nährwurzel ausgehenden Holzbündel sind endlich mit den in der Knolle des Schmarogers entstandenen Gefäßen so innig verbunden, daß die einen die Fortsetzung der anderen zu sein scheinen. Diese innige Verbindung der Gewebe zweier ganz verschiedener Pflanzenformen ist ganz besonders merkwürdig; sie hat ein gewisses Analogon in der beim Pfropfen von Bäumen entstehenden Verbindung von Wildling und Edelreis. Diese Knolle des Schmarogers, welche anfänglich der Wurzel des Wirtes nur einseitig angewachsen ist, umwallt sie allmählich vollständig, und es sieht dann aus, als sei die Nährwurzel durch die Knolle durchgewachsen. Aus den Knospen, die an vorgewölbten Stellen der braunen Knolle unter der Rinde entstehen, geht dann unvermittelt der Blütenstand hervor, indem die Rinde aufbricht und ein dicker, fleischfarbiger, mit eiförmigen, spitzen Schuppen dicht besetzter Sproß wie eine Keule hervorstößt. Oben ist dieser keulenförmige Sproß scheibenförmig ausgebreitet und trägt hier, zwischen unzähligen Schüppchen und Haaren eingebettet, die zu kleinen Köpfchen gruppierten Blüten. Die Fruchtblüten und Staubblüten stehen getrennt an verschiedenen Blütenständen. Das ganze Gebilde hat zur Zeit des Aufblühens mit dem Kopf eines in Frucht übergegangenen Korbblütlers eine unleugbare Ähnlichkeit.

Auf der östlichen Halbkugel sind die Langsdorffien und Scybaliën durch die Arten der Gattung *Balanophora* vertreten. Ihre Knollen erreichen mitunter die Größe eines Menschenkopfes und haben eine unebene, an Gehirnwindungen erinnernde Oberfläche. Sie sehen manchen Korallenstöcken nicht unähnlich. Eine derselben, nämlich *Balanophora Hildenbrandtii*, welche S. 369 links abgebildet ist, findet sich auf den Komoren vor der Ostküste Afrikas, sieben Arten bewohnen die Inseln Java, Ceylon, Borneo, Hongkong und die Philippinen; die von Forster entdeckte *Balanophora fungosa*, welche auf den Wurzeln von *Eucalyptus* und *Ficus* schmarogt, ist in Australien und auf den Neuen Hebriden zu Hause, und drei Arten haben ihre Heimat in Ostindien. Besonders reich an diesen absonderlichen Gebilden sind die höheren Regionen Javas und des Himalaja. *Balanophora elongata* ist auf Java in den Gebirgen zwischen 2000 und 3000 m so häufig, daß man sie korbweise sammelt, um daraus den zähen, wachsartigen Stoff zu gewinnen. Wie in Kolumbien aus der *Langsdorffia*, macht man hier aus dieser *Balanophora* Kerzen, oder man bestreicht mit der gewonnenen zähen Masse Bambusstäbchen, welche ganz ruhig und langsam abbrennen. Im Himalaja gehören *Balanophora dioica* und *polyandra* zu den verbreitetsten und häufigsten Arten, und *Balanophora involucrata* wird dort noch in der Seehöhe von 2300—3500 m auf den Wurzeln von Eichen, Ahornen und Aralien schmarogend angetroffen. Fast alle besitzen sehr lebhafte, von weitem sichtbare Farben: dottergelb, purpurrot, rotbraun, fleischfarbig, also ähnlich wie die Keulen-, Löcher- und Blätterpilze, mit welchen sie gesellig wachsen, und mit denen sie auch darin übereinstimmen, daß sie alle fleischig sind und keine Spur von Chlorophyll enthalten. Von einiger Entfernung gesehen, machen auch die vom dunkeln Grunde des Waldes sich abhebenden Blütenstände geradezu den Eindruck von Pilzen, und alle älteren Beobachter schildern diese *Balanophoreen* als wahre Mirakel, als Pilze, welche aber wunderbarerweise Blüten tragen. Für die naturphilosophische Schule unter den Botanikern in den ersten Dezennien des vorigen Jahrhunderts waren sie ein Gegenstand der gewagtesten Spekulationen und überschwenglichsten Schilderungen. 1817 schrieb der berühmte Botaniker Nees von Esenbeck: „Sie stehen da

wie ein hieroglyphischer Schlüssel zweier Welten, die wie Traum und Wachen sich in endloser Wechselbeziehung auslegen und fliehen“, und der Entdecker mehrerer dieser Gewächse auf Java, der verdienstvolle Junghuhn, schreibt: „Wer denkt nicht beim Anblick einer *Balanophora alutacea* auf der einen Seite abwärts an die *Sphaeria alutacea* [einen Pilz], auf der andern aber aufwärts an die Blütenstände der Aroideen und Freycinetien, vollkommener monokotylischer Pflanzen, die sich an hohen Waldbäumen hinauffschlingen.“



Schmarogende Kolbenschoffer: 1 *Rhopalocnemis phalloides*, aus Java, um mehr als die Hälfte verkleinert; 2 *Helosis Gujanensis*, aus Mexiko. (Zu S. 371 und 372.)

Die durchbrochene Rindenschicht bildet bei ihnen immer eine ziemlich große, becher- oder kelchförmige, am Rand unregelmäßig gelappte Scheide, welche den Blütenstand an der Basis umschließt; der Blütenstand selbst aber ist kolbenförmig und wird von einem dicken, mit großen, schuppenförmigen Blättern besetzten Schaft getragen. Die Kolben haben meist nur die Länge eines kleinen Fingers, erreichen aber mitunter auch die Höhe von 30 cm.

Durch die kolbenförmige Gestalt des Blütenstandes stimmen mit den Arten der Gattung *Balanophora* jene der amerikanischen Gattung *Helosis* überein, von der die häufigste, nämlich *Helosis Gujanensis*, obenstehend abgebildet ist. Auch das Anwachsen der auf die

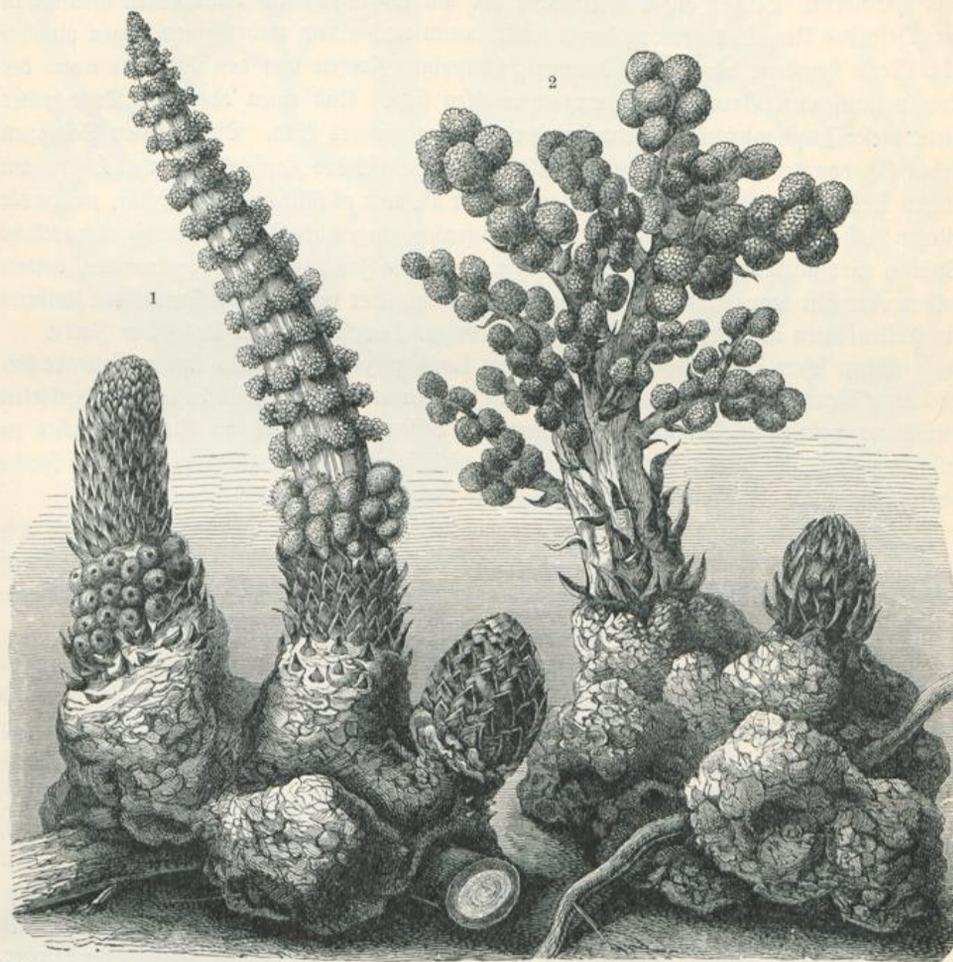
Nährwurzel gelangten Keimlinge zu einem Knöllchen, die Zerstörung der Rinde, die Entblößung des Holzkörpers an der Stelle der Nährwurzel, wo sich das Knöllchen des Schmarozers angelegt hat, sowie auch die Störung im Verlaufe der Holzbündel erfolgen in derselben Weise wie bei den anderen Balanophoreen.

Die Stöcke entwickeln hier niemals unmittelbar die Blütenschäfte, sondern erzeugen zunächst mehrere weißliche oder gelbliche Ausläufer von der Dicke eines Federkiels bis zu der eines Fingers, die unter dem Boden horizontal fort kriechen, sich verzweigen, dabei sich mit anderen Verzweigungen gegenseitig kreuzen, an den Berührungsstellen verwachsen und so mitunter ein Netz bilden, das sich mit dem braunen Wurzelwerk der Nährpflanze in kaum entwirrbarer Weise verflecht und verstrickt. Wo ein solcher Ausläufer mit einer lebenden Wurzel der Wirtspflanze in Berührung kommt, schwillt er an der Berührungsfläche alsbald an, wird dort zu einer knollig aufgetriebenen Masse und verwächst mit der Wurzel in derselben Weise wie die aus dem Samen hervorgegangenen Knöllchen. An den Seiten der dickeren von diesen zylindrischen Ausläufern entstehen Warzen, in deren Innerem sich die Knospen für die Blütenstände ausbilden. Die Haut der Warze reißt am Scheitel auf und bildet einen kleinen Becher, aus dem der nackte, unbeschuppte, oben durch einen eiförmigen Kolben abgeschlossene Schaft emporsproßt. Da die Ausläufer horizontal unter der Erde verlaufen, die Schäfte aber kerkengerade vom Boden sich erheben, so stehen die letzteren immer senkrecht auf den Ausläufern, als deren Äste sie aufzufassen sind.

Die zu Köpfchen gruppierten, aber im Kolben eine geschlossene Masse bildenden Blüten sind durch eigentümliche Deckschuppen gestützt, deren jede einzelne einem Nagel mit facettiertem Kopfe vergleichbar ist, und da alle diese facettierten Köpfe dicht zusammenschließen, erscheint der ganze jugendliche Blütenstand wie mit einem gefelderten Panzer umgeben. Nach und nach lösen sich aber diese nagelförmigen Deckschuppen los, fallen ab, und es werden auf diese Weise die Blüten sichtbar, die bisher von dem Panzer überdeckt waren. Nach der Samenreife geht der ganze Ausläufer, aus dem der Blütenstand emporgewachsen war, und gewöhnlich auch die Knolle, welche diesem Ausläufer zum Ausgangspunkte diente, zugrunde, und eine andere Knolle des oben geschilderten Netzes oder die von diesem ausgehenden Ausläufer werden zum Ausbildungsherd für neue Blütenstände. Insofern kann man diese Helosis-Arten auch als ausdauernde Pflanzen bezeichnen, während bei der Mehrzahl der anderen Balanophoreen der ganze Stock nach dem Verblühen und Ausreifen der Samen alsbald abstirbt und zugrunde geht. Die blühenden Kolben der Helosis-Arten haben eine purpurrote oder blutrote Farbe und führen in Brasilien auch den Namen Espigo de sangue. Bisher sind nur drei Helosis-Arten bekanntgeworden, die im äquatorialen Amerika, auf den Antillen und von Mexiko bis Brasilien verbreitet sind.

Mit Helosis nahe verwandt und durch die nagelförmigen, facettierten Deckschuppen des zapfenförmigen Blütenstandes übereinstimmend, aber durch die ganz andere Wachstumsweise, zumal durch den Mangel der Ausläufer, wieder abweichend ist die Gattung *Corynaea*, deren vier Arten in den Anden Südamerikas, in Peru, Ekuador und Kolumbien aufgefunden wurden. Ein anderer an Helosis sich anschließender Wurzelschmarozer, der einzige Vertreter dieser vorwaltend amerikanischen Gruppe in Asien, ist *Rhopalocnemis phalloides* (s. Abbildung, S. 371, Fig. 1). Er findet sich an den Wurzeln von Feigenbäumen, Eichen und verschiedenen Lianen im Berglande Javas und im östlichen Himalaja und zählt zu den größten aller Balanophoreen. Sein fleischiger, gelblich- oder rötlichbrauner Knollenstock erreicht die

Größe eines Menschenhauptes, die Blütenzapfen, welche aus den Buckeln dieser klumpigen Masse zu 2—6 hervorbrechen, werden über 30 cm lang und 4—6 cm dick, sind lichtbraun und ahmen die Form eines Zykadeenzapfens nach. Wie *Corynaea* unterscheidet sich auch *Rhopalomenis* von *Helosis* durch das Fehlen der aus dem Knollenstock hervorgehenden Ausläufer.



Schmarotzende Kolbenschoffer: 1 *Lophophytum mirabile*, aus Brasilien; 2 *Sarcophyte sanguinea*, vom Kap der Guten Hoffnung. (Zu S. 373 und 374.)

Als eine weitere Gruppe der schmarotzenden Kolbenschoffer werden die Lophophyteen unterschieden, welche von allen bisher besprochenen Gruppen dadurch abweichen, daß ihre Blüten in getrennten, rundlichen Köpfchen einer fleischigen, aus dem Knollenstock hervorgewachsenen ungeteilten Spindel aufsitzen. Sie gehören wieder dem zentralen Amerika an.

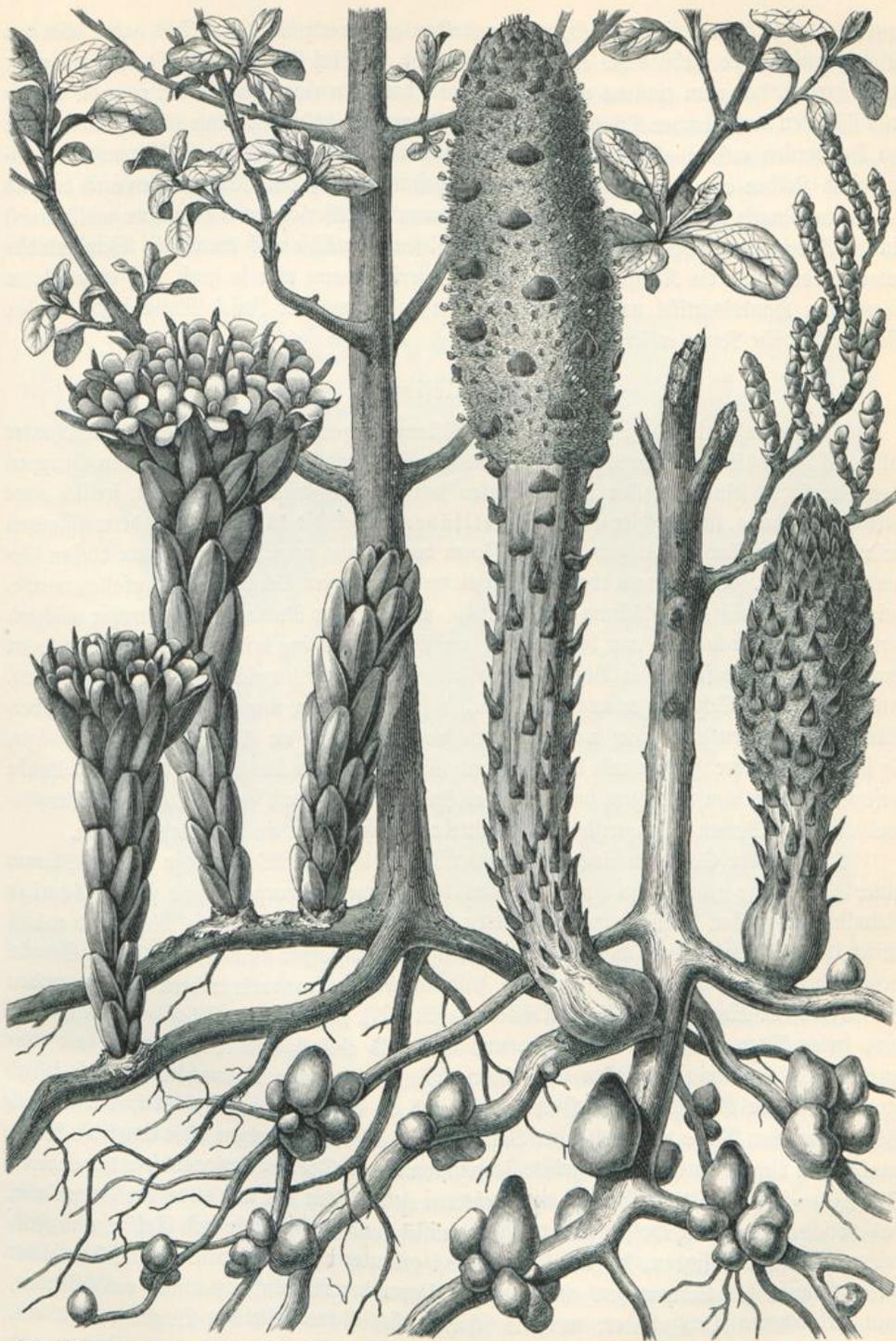
Wenn die Knollenstöcke einmal die Größe einer Faust erreicht haben, so ist ihre Rindenschicht immer fest, korkartig, gefeldert und die einzelnen Felder mehr oder weniger regelmäßig eckig, wie es die obenstehende Abbildung zeigt. Einzelne stärker vorgewölbte Teile strecken sich und wachsen zu kurzen, dicken Strünken aus, die ringsum deutlich beschuppt sind. Aus der

Mitte dieser zuweilen bis 15 cm hohen Strünke erhebt sich nun ein kolbenförmiger Blütenstand, der anfänglich mit dachziegelförmig aufeinanderliegenden eilanzettlichen, an den Spitzen schwärzlichbraunen und fast hornigen Schuppen so dicht besetzt ist, daß der ganze Kolben einem aufrechtstehenden Zykadeenzapfen ähnlich sieht. Man denke sich nun den seltsamen Eindruck, welcher auf den Besucher der mit *Lophophytum* bewachsenen Gründe in der Tiefe des Urwaldes hervorgebracht wird, wenn nach einem mehrtägigen Regen plötzlich über Nacht Hunderte von diesen braunen, schuppigen Zapfen von den über und unter der Erde verlaufenden Baumwurzeln emporgewachsen sind. Und einen oder zwei Tage später bietet dieser *Lophophytum*-Garten wieder ein ganz anderes Bild. Die braunen Schuppen haben sich von der Spindel gelöst, zuerst die an der Basis des Zapfens, dann auch jene am oberen Teil desselben, nahezu gleichzeitig fallen sie ab, und es fällt damit die Hülle, welche die Blüten bisher noch immer verdeckt hatte. Die aufrechte, fingerdicke, fleischige, weiße oder rötliche Spindel wird sichtbar, welche die Blüten trägt; unten die Fruchtblüten in kugelrunden, dottergelben oder fast orangefarbigem, genäherten Köpfchen; über dem unteren Drittel des Kolbens die Pollenblüten in lockeren, weiter auseinandergerückten Köpfen von blaßgelber Farbe.

Wenn schon diese blühenden Zapfen des *Lophophytum mirabile* eine auffallende Erscheinung bieten, so gilt dies noch in erhöhtem Maße von dem gleichfalls in den Waldgebieten Brasiliens heimischen *Lophophytum Leandri*, dessen Blütenstand an Buntheit nichts zu wünschen übrigläßt, indem seine Spindel blaß rötlichviolett, die Deckschuppen von der Farbe des Gummigutts, die Fruchtknoten gelblich, die Griffel rot und die Narben weiß sind.

Im Vergleich zu dem an diesen Schmarozern reichen äquatorialen Amerika ist das tropische Afrika daran arm. *Sarcophyte sanguinea*, auf S. 373 rechts abgebildet, wächst auf verschiedenen Akazien, trägt einen blutroten verzweigten Blütenstand und macht beinahe mehr den Eindruck eines tierischen als eines pflanzlichen Gebildes.

Schließlich sei hier des in alter Zeit so hoch geschätzten *Cynomorium* gedacht, der einzigen Art dieser Pflanzenfamilie, die auch im südlichen Europa vorkommt und auf S. 375 rechts abgebildet ist. Während die anderen Balanophoreen durchweg auf den Wurzeln von Bäumen und Lianen im Schatten hoher Wälder schmarozen, gedeiht dieses *Cynomorium* vorwiegend auf Pflanzen an der Meeresküste, auf den Wurzeln der Pistazien und Myrten oder auch auf den salzliebenden Strandgewächsen, den Tamarisken, Salicornien, Salsolazeen und Melden, welche bei hochgehender Brandung noch von dem Gischte des Wassers bespritzt werden. Der Same, welcher denen der anderen Kolbenschosser sowie auch denen der Sommerwurzarten ähnlich ist, keimt auch in derselben Weise wie diese. Aus einer Zellgruppe des Samens, welche als Keimling angesehen werden kann, entsteht ein fadenförmiger, nach abwärts wachsender Körper, dessen oberer Teil noch einige Zeit mit den anderen an Nährstoffen reichen Zellen des Samens verbunden bleibt. Auf Kosten dieser Nährstoffe wächst dann der fadenförmige Keimling weiter in die Tiefe, schwillt, sobald er eine lebende Wurzel erreicht hat, spindelförmig an und wird zu einem Knöllchen von eiförmiger oder auch unregelmäßig knotig gelappter Form, das sich mit dem Holzkörper der Nährwurzel in der wiederholt geschilderten Weise verbindet. Das Knöllchen nimmt an Umfang zu, verlängert sich, und es erhebt sich nun, ähnlich wie bei *Lophophytum*, aus seinem Scheitel ein mit spitzen Schuppen bekleideter Kolben über die Erde, der deutlich in einen unteren strunkartigen Träger und in den dicken, zapfenförmigen Blütenstand gegliedert ist. Die Schüppchen werden bei dieser Streckung des Kolbens auseinandergerückt und fallen zum Teil auch ab. Ein Teil derselben aber erhält sich in der Mittelhöhe des Blütenstandes in Form



Hypocistis (*Cytinus Hypocistus*), links; Malteserschwamm (*Cynomorium coceinum*), rechts. (Zu S. 374, 377 und 380.)

quer-ovaler Blättchen bis zur Zeit, wo der Kolben ganz vertrocknet ist. Das ganze über den Boden aufragende Gebilde hat eine blutrote Farbe, und bei Verletzung fließt auch ein roter Saft hervor, den man einstens als Blut gedeutet hat. In einer Zeit, in der man die Eigentümlichkeiten auffallender Pflanzen als einen Fingerzeig höherer Mächte für die Benutzung zu Heilzwecken ansah, glaubte man in dem blutroten und bei Verletzung blutenden Cynomorium-Kolben eine Arznei gegen Blutungen gefunden zu haben. Sie wurden auch damals zu diesem Zwecke gesammelt und unter dem Namen Malteserschwamm (*Fungus melitensis*) in die Apotheken geliefert. Auch sonst wurden diesem Gewächse noch mancherlei Wunderkräfte zugeschrieben, und die Nachfrage nach dem Malteserschwamme war so groß, daß er zu einem förmlichen Handelsartikel wurde, den man vorzüglich von der Insel Malta bezog, daher sich der deutsche Name erklärt.

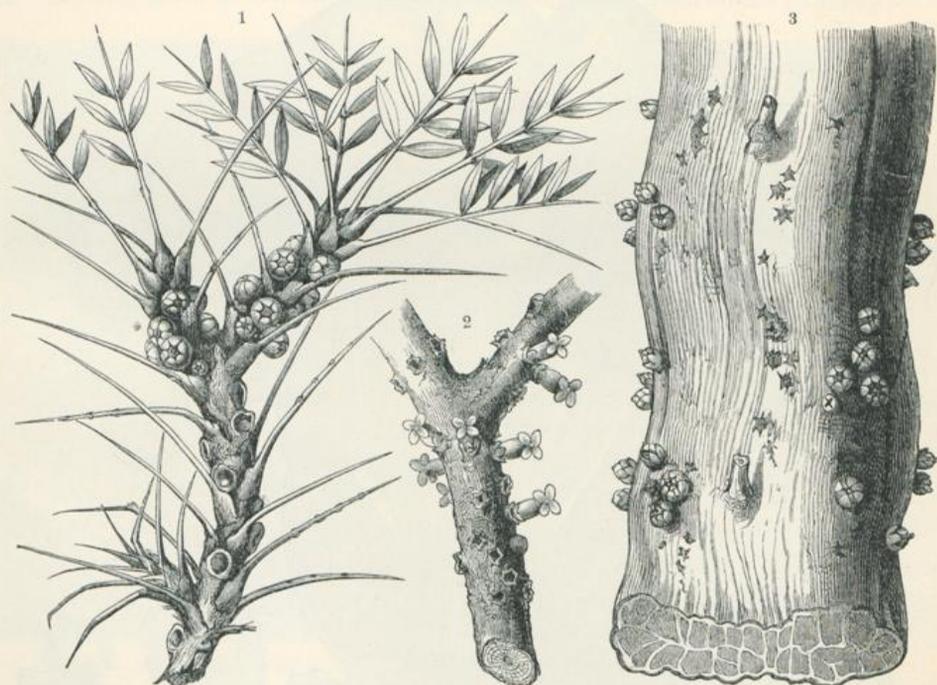
Die Rafflesiaceen.

Die ungewöhnlichste Verkümmernng des Pflanzenkörpers durch Parasitismus haben unter allen Pflanzen die tropischen Rafflesien erreicht. Während bei den vorhergehenden Gruppen der Parasit in seinen Knollen und Strünken doch einen eigenen Körper besaß, freilich ohne jede Blattbildung, sinkt er hier auf bloße Zellfäden zurück, die an den Bau niederer Pflanzen erinnern. Der Parasit hat ganz auf die Form der Pflanze verzichtet, er ist zum bloßen Gewebe geworden. Der Stamm oder die Wurzel, welche von dem Schmarozer angefallen wurde, zeigt nur eine mäßige Verdickung an der Stelle, wo unter der Rinde der Schmarozer wuchert, und selbst die Rinde wird nur dort zerstört, wo sie der Keimling beim Eindringen durchbohrt hat, und dort, wo später die Blüten hervorbrechen. Wenn Wurzeln den Nährboden bilden, auf dem sich der Schmarozer angesiedelt hat, so sind es immer nur solche, welche ganz oberflächlich am Boden hinlaufen; wenn dagegen die Ansiedelung an Stengelbildungen erfolgte, so sind es entweder Zweige von Bäumen und Sträuchern oder die mit abgestorbenem Laube besetzten Sprosse von niedrigen, buschigen Halbsträuchern oder auch holzige Lianen des Tropenwaldes. Die Samen gelangen durch Vermittelung von Tieren an die Wirtspflanzen.

Ist nun der Same an eine holzige, oberflächlich laufende Wurzel oder an den Stamm einer Holzpflanze gelangt, so findet der aus dem Samen hervorgegangene fadenförmige Keimling an solchen Stellen einen geeigneten Nährboden, durchdringt die Rinde und wächst unter ihr zu einem Gewebe aus, das scheidenartig den Holzkörper umwuchert. Dieses Gewebe besteht bei *Rafflesia* und der auf den halbsträuchigen Tragantssträuchern vorkommenden *Pilostyles* (*P. Haussknechtii*; s. Abbildung, S. 377, Fig. 1) aus Zellreihen, welche sich dem freien Auge als Fäden darstellen, und die, bald einfach und langgestreckt, bald verzweigt, sich netzförmig verbinden und einem Pilzmyzelium zum Verwechseln ähnlich sehen. Zumal mit den Myzelien jener Hutpilze, die sich in Gestalt von Gespinnsten, Netzen und Gittern zwischen Rinde und Holz alter Baumstämme ausbreiten, zeigen diese unter der Rinde wuchernden Vegetationskörper die größte Übereinstimmung. Der Vegetationskörper der anderen *Pilostyles*-Arten stellt ein Gewebe von mehreren Zellschichten dar und bildet ein Parenchym, das zwischen Rinde und Holz der Wirtspflanze nistet, und in dem sich auch Gefäße und Zellreihen eingeschaltet finden, die als Gefäßbündel gedeutet werden können. Nur selten bildet dieses Gewebe des Schmarozers einen den Holzkörper der Wirtspflanze rings umhüllenden, ununterbrochenen Hohlzylinder; meistens schieben sich Gewebeteile des Wirtes in ihn ein, welche als Streifen, Leisten und Fasern den zylindrischen Vegetationskörper durchsetzen und

zerteilen. Die Gewebeteile des Wirtes, welche der eingenistete Parasit vom lebendigen Holz abgehoben und vollständig getrennt hat, sterben ab; mitunter aber bleiben solche abgehobene Schichten seitlich mit denen anderer lebendiger Gewebe in Verbindung, erhalten sich dann auch selbst lebendig und teilungsfähig und entwickeln sogar Schichten von Holzzellen, die sich auf dem Rücken des Parasiten ablagern. Alles ist dann durch- und übereinander geschoben, und es ist schwierig, zu sagen, was dem Parasiten, und was dem Wirt angehört.

Hat der Gewebekörper des Schmarotzers die Verbindung in der eben geschilderten Weise bewerkstelligt, so ist die Wirtspflanze auch nicht mehr imstande, sich des Eindringlings zu

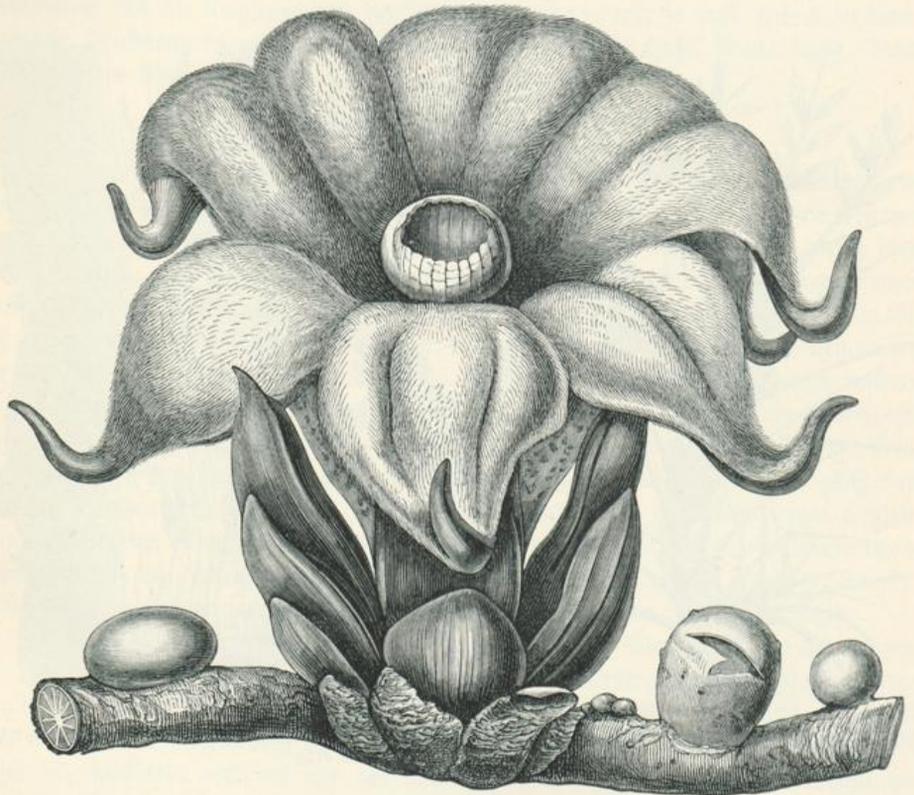


Rafflesien, auf holzigen Stämmen und Zweigen schmarotzend: 1 *Pilostyles Haussknechtii*; 2 *Apodanthes Flacourtiæ*; 3 *Pilostyles Caulotretii*. (Zu S. 376 und 377.)

entledigen. Ein Teil der Säfte des Wirtes geht in die Zellen des Schmarotzers über, dieser nimmt an Umfang zu und sucht sich alsbald auch durch Frucht- und Samenbildung zu vermehren und zu verbreiten. Zu diesem Behufe bildet sich an passenden Stellen im Gewebekörper des Parasiten eine Knospe aus, ein Parenchym von polsterförmigem Ansehen, das deshalb auch Floralpolster genannt wird. In diesem Floralpolster aber gruppieren sich jetzt die Zellen in ganz bestimmter Weise; es entstehen Zellenzüge und Gefäße, und es zeigt sich alsbald eine reichliche Gliederung in Achse und Blätter zum Zweck der Blütenbildung. Diese Glieder entwickeln sich weiter, nehmen an Umfang zu, und die vergrößerte Knospe durchbricht jetzt die Rinde der Wirtspflanze, unter der sie sich ausgebildet hatte.

Nur bei der Gattung *Cytinus* wächst aus dieser Knospe ein reichbeblätterter Stengel hervor, der oben einen Ebenstrauch von Blüten trägt (s. Abbildung, S. 375, links), bei den anderen Rafflesiazeeen ist dagegen die Knospe, welche die Rinde des Wirtes durchbrochen hat,

schon die Blütenknospe selbst. Die Achse einer solchen vereinzelt Blütenknospe ist aufs äußerste verkürzt, nur mit wenigen kleinen Schuppen besetzt, und die Blüten sitzen unmittelbar den Wurzeln oder Stengeln des Wirtes auf (s. untenstehende Abbildung). An den über den Boden hingestreckten Wurzeln brechen die Knospen immer nur an der oberen, dem Lichte zugewendeten Seite hervor, auch an den Lianen bilden sie sich nur an der Seite aus, welche besser beleuchtet ist, und wo später die geöffneten Blüten den anfliegenden Insekten leicht zugänglich sind (s. Abbildung, S. 377, Fig. 3); an den aufrechten Sträuchern und Halbsträuchern



Schmarozende Rafflesiacee (*Brugmansia Zippellii*) auf einer *Cissus*-Wurzel. (Zu S. 378 und 379.)

dagegen kommen sie allseitig an den Zweigen zum Vorschein. Die aufrechten Zweige, welche mit den zum Durchbruche gekommenen Blüten des Schmarozers *Apodanthes Flacourtiae* allseitig besetzt sind (s. Abbildung, S. 377, Fig. 2), sehen dann täuschend dem im ersten Frühling vor der Entwicklung der Laubblätter blühenden Seidelbaste (*Daphne Mezereum*) ähnlich, dessen holzige Zweige auch ringsum mit wagerecht abstehenden Blüten besetzt sind. An der auf den buschigen, niedrigen Tragantsträuchern der Hochsteppen Persiens schmarozenden *Pilostyles Haussknechtii* bilden sich die Knospen regelmäßig zu beiden Seiten der Blattansätze des Wirtes aus, und man sieht dann an der Basis eines jeden alten Laubblattes ein paar Knospe hervor kommen, die sich später als Blüten öffnen (s. Abbildung, S. 377, Fig. 1).

Die Blüten dieser *Apodanthes*- und *Pilostyles*-Arten sind durchgehends klein, von

der Größe der Flieder- oder Jasminblüten, und nichts weniger als auffallend. Anders verhält es sich mit den Gattungen *Brugmansia* und *Rafflesia*. Schon die auf Borneo und Java heimischen *Brugmansien*, von denen die auf einer *Cissus*-Wurzel schmarotzende *Brugmansia Zippellii* auf S. 378 in natürlicher Größe abgebildet ist, haben recht ansehnliche Blüten. Ihr Umfang wird aber noch vielfach übertroffen durch die Blüten der *Rafflesien*, deren eine, nämlich *Rafflesia Arnoldi*, geradezu als die größte Blume der Welt bezeichnet werden darf. Geöffnet, besitzt nämlich diese Blüte den Durchmesser von einem Meter! Wenn die Knospen dieser Blüten aus den Wurzeln der als Wirtspflanzen dienenden Lianen hervorbrechen, haben sie nur den Umfang einer Walnuß und lassen kaum die künftige Größe



Rafflesia Patma, auf oberflächlich verlaufenden Wurzeln schmarotzend. (Zu S. 379—380.)

ahnen; sie nehmen aber allmählich an Umfang zu und ähneln vor dem Öffnen einem Weißkohlkopf. Die Deckblätter, welche die Blume zu dieser Zeit noch einhüllen und ihr das erwähnte Aussehen geben, schlagen sich nun zurück, und die ganz zuletzt noch stark vergrößerte Blume öffnet sich jetzt mit fünf gewaltigen halbkreisförmigen Lappen, welche den mittleren napf- oder feldartigen Teil umranden. Dort, wo das napfförmige Mittelstück, dem die Staubgefäße und Griffel eingefügt sind, in die Lappen übergeht, zeigt sich ein dicker, fleischiger Ring, ähnlich einer Nebenkronen. Das vertiefte Mittelstück, der Ring und die auf der oberen Seite mit zahlreichen Warzen bedeckten Lappen sind fleischig, und die ganze Blüte entwickelt einen unangenehmen Nasengeruch. Entdeckt wurde diese Wunderblume im Jahre 1818 im Inneren von Sumatra zu Pulo Lebbas am Mannastrome, wo sie auf den Wurzeln wilder Neben an Orten, wo der Boden mit Elefantennmist bedeckt ist, schmarotzt. Außerhalb Sumatra ist sie bisher noch nirgends gesehen worden. Dagegen hat man noch vier andere *Rafflesien* aufgefunden, und zwar alle auf den Inseln des Indischen Ozeans, auf Java, Borneo und den Philippinen. In der Wachstumsweise und im Aufbau der Blütenteile haben sie mit

Rafflesia Arnoldi große Ähnlichkeit, aber in der Größe der Blüten stehen sie mehr oder weniger zurück. Die auf Java vorkommende *Rafflesia Patma*, von der eine Abbildung auf S. 379 eingeschaltet ist, besitzt Blüten, welche nur den Durchmesser von $\frac{1}{3}$ m haben. Die vertiefte, etwas ausgebauchte Mitte sowie der Ring, welcher den Blütengrund befäumt, sind bei dieser *Rafflesia* schmutzig blutrot, die warzigen Lappen haben fast die Farbe der menschlichen Haut. Die Blüten sitzen den schlängelförmig über den dunkeln Waldgrund hinstreichenden Wurzeln auf, und es entströmt ihnen ein nichts weniger als angenehmer Kadavergeruch: alles Eigentümlichkeiten, welche den unheimlichen Eindruck erklären, den diese Gebilde auf alle Beobachter hervorbringen.

In Europa ist die merkwürdige Gruppe der Rafflesiazeeen nur durch den auf S. 375 abgebildeten Hypozist (*Cytinus Hypocistus*) vertreten, der von Spanien und Algerien bis Kleinasien durch das ganze Mittelmeergebiet verbreitet ist. Den Nährboden für den Hypozist bilden die Wurzeln der für die Vegetation des Mittelmeergebietes so charakteristischen Zistrosensträucher. Besonders dort, wo die Erdrinde feicht ist und daher die Wurzeln der genannten Sträucher ziemlich oberflächlich verlaufen, teilweise auch bloßliegen, trifft man unter dem Gestrüpp der Zistrosen den Hypozist in großer Menge angesiedelt. Da die schuppenförmigen Blätter, welche den Stengel dieses Schmarozers bekleiden, scharlachrot gefärbt sind, und da der Hypozist nicht vereinzelt, sondern in großer Menge vorzukommen pflegt, so sieht man stellenweise aus den Lücken der Zistrosenbestände ein flammendes Rot hervorleuchten, durch das man schon von fern auf das Vorkommen dieses Schmarozers aufmerksam wird. Die Blüten selbst, welche sich zwischen den roten, schuppenartigen Deckblättern öffnen, sind gelb gefärbt, eine Farbenverbindung, welche in der Pflanzenwelt zu den Seltenheiten gehört, und die auch dieser Pflanze ein recht fremdartiges Aussehen verleiht.

Außer dieser im mittelländischen Florengebiete verbreiteten *Cytinus*-Art finden sich noch zwei weitere Arten in Mexiko und eine auch im Kaplande, welche wohl nicht auf *Cistus*-Sträuchern, sondern auf anderen Holzpflanzen, besonders auf *Eriocephalus*, schmarozen.

2. Die schmarozenden Pilze.

Unter dem Namen Pilze wurden früher alle des Chlorophylls ermangelnden Sporenpflanzen, deren Artenzahl an hunderttausend heranreichen dürfte, zusammengefaßt. Man hat aber erkennen müssen, daß die Schleimpilze (*Myxomyzeten*) und die Spaltpilze (*Bakterien*) solche Besonderheiten in ihrer Form und Entwicklung aufweisen, daß sie nicht mit den Pilzen verwandt sein und mit ihnen nicht vereinigt werden können. Beide erscheinen so eigenartig in ihrer ganzen Biologie, daß sie vermutlich kaum von Vorfahren heute lebender Sporenpflanzen abstammen. Woher sie stammen, ist vollständig unsicher. Bei den Pilzen ist freilich diese Frage ebenfalls heute noch nicht zu beantworten, jedoch lassen einige Abteilungen wenigstens einen früheren Zusammenhang mit grünen Algen erkennen. Die Pilze sind wahrscheinlich ein von den Algen abgezwigter und durch Parasitismus degenerierter Stamm.

Nicht alle Pilze sind Schmarozer im wahren Sinne des Wortes. Viele von ihnen begnügen sich mit Abfallstoffen, die von abgestorbenen Pflanzen und Tieren herkommen. Man nennt diese, im Gegensatz zu den auf lebenden Organismen wachsenden Parasiten, *Bewegungspflanzen* oder *Saprophyten*. Zu letzteren gehören auch fast alle *Myxomyzeten*; nur wenige von ihnen sind Parasiten auf Algenzellen, die sie anbohren und leerfressen; *Plasmodiophora Brassicae* erzeugt die krankhaften Anschwellungen an Kohlrüben. Der Parasitismus

der Bakterien ist demgegenüber ein ganz eigenartiger. Sie dringen meist in den menschlichen oder tierischen Körper ein, seltener in Pflanzen, aber sie nehmen nicht, wie es die Parasiten ganz allgemein tun, nur Nährstoffe aus ihren Wirten auf, sondern veranlassen auffallende Zersetzungen, die ihre Existenz nicht befördern. Ihre giftigen Zersetzungsprodukte werden die Ursachen zahlreicher gefährlicher Krankheiten (Infektionskrankheiten). Diese Erscheinungen haben aber mehr Ähnlichkeit mit der Gärung als mit Parasitismus, weshalb sie später mit jener gemeinsam behandelt werden sollen.

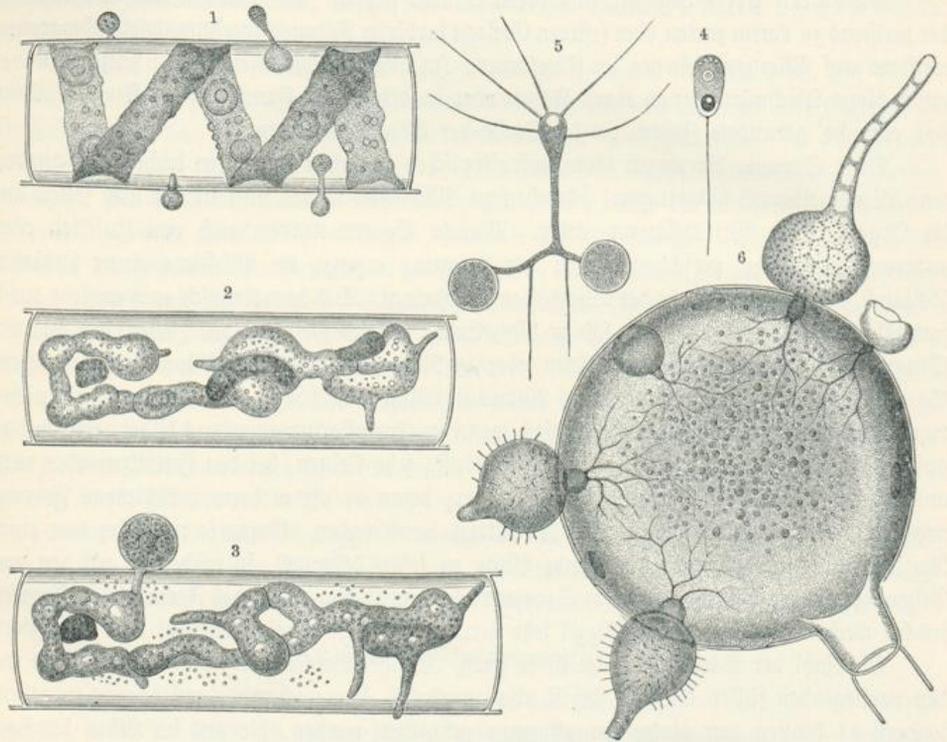
Die echten Pilze dagegen, aus deren Sporen sich ein fadenförmiger Körper entwickelt, der meistens zu einem zarten oder festeren Geflecht farbloser Fäden (Myzelium) wird, schmarozen meistens auf Pflanzen, seltener im Tierkörper. In allen Fällen erzeugen die Pilze entweder durch bloße Abschnürung von ihren Fäden oder in besonderen Fruchtkörpern Sporen. Dies sind einfache, gerundete Zellen, die die Stelle der Samen vertreten.

Diese Sporen, die wegen ihrer mikroskopischen Kleinheit ungemein leicht sind, werden vom Winde überall hingetragen, schweben zu Millionen in der Luft umher und fallen auf die Organe ihrer Wirtspflanzen nieder. Manche Sporen werden auch von Insekten oder anderen Kriechtieren verschleppt. Bei der Keimung erzeugt die Pilzspore einen farblosen Schlauch, der in das Gewebe der Wirtspflanze eindringt. Aus dem Keimschlauch entsteht durch fortwährende Verzweigung das fädige Myzelium, welches zwischen den Zellen der Blätter, Stengel und Wurzeln, in den Blüten oder in Rinde und Holz der Bäume weiterwuchert. So wächst der Pilz im Inneren seines Wirtes in völliger Verborgenheit, und man sieht nichts von seiner verhängnisvollen Arbeit. Erst wenn er Fortpflanzungsorgane bildet, erscheint er auf der Oberfläche der Organe, indem seine häufig sehr kleinen, bei den Hutpilzen aber recht ansehnlichen Sporenbehälter und Sporenträger, deren er oft mehrere verschiedene Formen nebeneinander entwickelt, die Gewebe des Wirtes durchbrechen. Geradeso wie man von einer Rafflesie auch nur die hervorbrechende Blüte zu sehen bekommt, so erscheinen auf den von Pilzen befallenen Pflanzen nur die Sporenfrüchte am Lichte. Nach der Form dieser Sporenfrüchte werden die Pilze, deren Myzel sehr geringe Unterschiede zeigt, erkannt und klassifiziert.

Die Zahl der Schmarozerpilze ist so groß, daß ihre Beschreibung allein einen Band wie den vorliegenden füllen könnte. Es ist also unmöglich, hier auch nur eine Übersicht zu geben, sondern es können nur einige Hauptformen geschildert werden, die uns im Leben häufiger begegnen, um auch eine Vorstellung von der Eigenart dieser Organismen zu verschaffen.

Gewisse Pflanzengruppen sind ganz besonders den Angriffen schmarozender Pilze ausgesetzt. Es gibt Nadelhölzer und Laubbäume, auf deren Stamm sich drei-, vier-, fünferlei schmarozende Pilze ansiedeln. Auf Laub- und Lebermoosen werden schmarozende Pilze verhältnismäßig nur selten angetroffen, dagegen findet man auf Flechten und auf den Sporenträgern der Schwämme ziemlich viele Parasiten. Selbst auf Schimmelpilzen nisten sich wieder andere Pilze als Schmarozer ein. So schmarozt z. B. auf dem weitverbreiteten Schimmel *Mucor Mucedo* ein anderer Pilz, *Piptocephalis Freseniana*. Sehr selten werden Wasserpflanzen von schmarozenden Pilzen befallen, was um so beachtenswerter ist, als auf den grünen Algenfäden, auf den braunen Tangen und den roten Florideen gewöhnlich eine Fülle von nicht schmarozenden Gastpflanzen gefunden wird. Auf den grünen Algenfäden, zumal den im Süßwasser lebenden Arten der Gattungen *Oedogonium*, *Spirogyra* und *Mesocarpus*, schmarozen, dem freien Auge nicht erkennbar, winzige Pilzformen, welche zu den Chytridiaceen und Saprolegniaceen gezählt werden. Einer dieser mikroskopischen Schmarozer,

der in der untenstehenden Abbildung, Fig. 1—3, dargestellt ist und den Namen *Lagenidium Rabenhorstii* führt, entwickelt wimperlose, kugelige Schwärmsporen, die sich an die Wand der mit einem bandförmigen, schraubig gewundenen Chlorophyllkörper versehenen *Spirogyra*-Zellen anlegen, diese durchbohren und zunächst einen Kolben in das Innere der Zelle treiben. Aus dem Kolben wird alsbald ein Schlauch, der sich im Inneren der *Spirogyra*-Zelle rasch vergrößert und verzweigt und dabei den bandförmigen Chlorophyllkörper vollständig zerstört. Die verzweigten Schläuche des *Lagenidium* vermehren sich dann auf Kosten der durchwucherten



Schmarozende Pilze auf Wasserpflanzen: 1 bis 3 *Lagenidium Rabenhorstii*, auf *Spirogyra* schmarozend; 4 Schwärmspore und 5 junge Keimpflanze von *Polyphagus Euglenae*, auf Zellen von *Euglenen* schmarozend; 6 *Rhizidiomyces apophysatus*, auf dem Träger von *Achlya racemosa* schmarozend. Start vergrößert. (Zu S. 382 und 383.)

Zellen des Wirtes auf doppelte Art, nämlich auf geschlechtlichem und auf ungeschlechtlichem Wege. Die letztere Art der Vermehrung, welche durch die obenstehende Abbildung, Fig. 1—3, anschaulich dargestellt ist, erfolgt in der Weise, daß das schlauchförmige, einem Darm ähnliche Myzelium Ausstülpungen treibt, welche aus der Zellkammer der überfallenen *Spirogyra* wieder hinaus in das umgebende Wasser wachsen. Dort schwillt jede Ausstülpung zu einer kugeligen Blase an, in der sich das Protoplasma in acht Sporen teilt. Diese Sporen werden dann als Schwärmer entlassen und können sich neuerdings an frische, gesunde *Spirogyra*-Zellen anlegen.

Wesentlich anders verhält sich der Schmarozer *Chytridium Olla*, welcher die grünen Zellen der im Süßwasser lebenden *Oogonien* befallt. Seine rundlichen, mit einem langen Wimperfaden versehenen Schwärmsporen schwimmen suchend im Wasser umher, bis sie auf eine gerade in der Bildung von Früchten begriffene *Oogonium*-Zelle treffen. Haben sie

diese gefunden, so legen sie sich an dieselbe an und treiben unendlich zarte, haarförmige Schläuche in das Innere. Mittels dieser Schläuche entnehmen sie ihre Nahrung dem Wirte. Der außerhalb der überfallenen Zelle befindliche Körper des Schmarotzers vergrößert sich und wächst schließlich zu einem Sporenschlauche heran, der sich am Scheitel mit einem Deckel öffnet und wieder Schwärmsporen in das umgebende Wasser entläßt.

Der zu den Chytridiazeeen gehörige *Polyphagus Euglenae* schmarotzt auf den im Wasser lebenden grünen Zellen der Euglenen. Die Schwärmsporen dieses mikroskopischen Pilzes (s. nebenstehende Abbildung, Fig. 4) sind eiförmig, gleich denen des *Chytridium Olla* mit einem langen Wimperfaden versehen und schwimmen in der Weise im Wasser herum, daß das wimperfreie Ende vorangeht, während die Wimper wie ein Schwanz an dem hinteren Ende erscheint. Sobald diese Schwärmer zur Ruhe gekommen sind, nehmen sie die Kugelform an und treiben nach allen Seiten dünne, haarförmige Schläuche aus, die nach einem Wirte suchen. Hat einer dieser Schläuche eine grüne Euglena-Zelle erreicht, so dringt er in deren Körper ein, saugt ihn aus, wächst weiter und weiter, bildet neue haarförmige Schläuche, welche andere grüne Euglenen erreichen und oft Duzende derselben verketten (s. nebenstehende Abbildung, Fig. 5). Der *Polyphagus* gedeiht dabei zusehends und wird zu einer verhältnismäßig großen, länglichen Blase, in der das Protoplasma in zahlreiche Sporen zerfällt. Diese werden nun wieder zu Schwärmern mit langen Wimperfäden, welche aus der Blase auskriechen und neue Euglenen überfallen können.

Auch lebende Wassertiere werden von diesen kleinen Feinden angegriffen und vernichtet. Manche *Saprolegnia*zseen siedeln sich auf den Kiemen der Fische an, die sie mit ihrem schimmelähnlichen Myzelium überwuchern. Die befallenen Fische gehen durch Erstickung zugrunde, was im Verlaufe weniger Tage mit den Fischen eines ganzen Teiches geschehen kann. Auch auf den Schuppen der Fische siedeln sie sich an, wobei die Schuppen sich lösen und die Tiere erkranken und sterben.

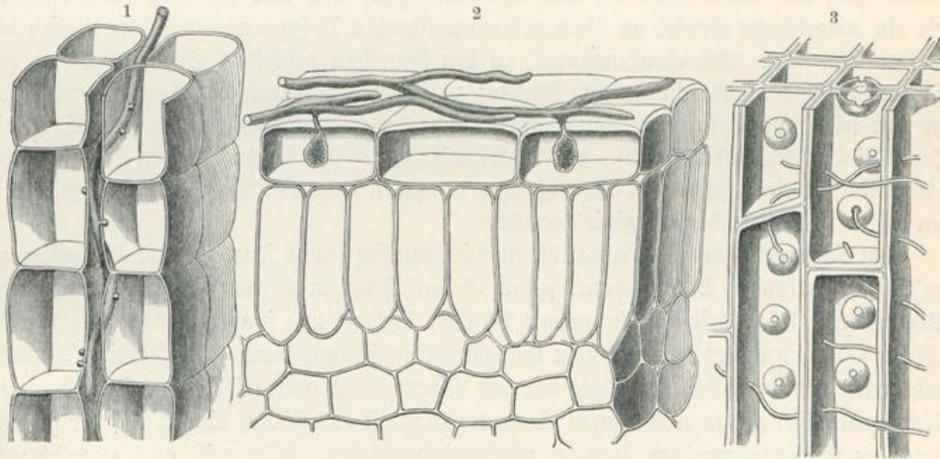
Werkwürdigerweise findet man bisweilen auch die im Wasser lebenden Chlorophyllojen Verwesungspflanzen von Schmarotzern befallen, und zwar wieder durch Arten, welche derselben Gruppe angehören. So werden z. B. die auf den Leichen von Fischen und anderen im Wasser umgekommenen Tieren wachsenden *Achlya*-Arten von kleinen schmarotzenden *Saprolegnia*zseen und *Chytridiazeeen* ausgezogen. Einer dieser winzigen Schmarotzer (s. nebenstehende Abbildung, Fig. 6) heißt *Rhizidiomyces apophysatus*, und sein Wirt ist *Achlya racemosa*. Die schwärmenden Sporen des Schmarotzers legen sich, ähnlich wie in den früher geschilderten Fällen, an den kugeligen Citräger der *Achlya* an und treiben in das Innere der überfallenen Zelle haarähnliche, unendlich dünne Schläuche. Diese verzweigen sich wurzelartig in dem Protoplasma der überfallenen *Achlya*-Zelle, saugen es aus, wachsen zusehends und bilden endlich kugelige Anschwellungen, welche, wenn sie eine gewisse Größe erreicht haben, die Wand der Wirtszelle nach außen durchstoßen, sich vorstülpen und schließlich aus einem vorgeschobenen Sporengehäuse zahlreiche Schwärmsporen entwickeln. Diese können, im Wasser auskriechend, neue Beute auffuchen. Es ist bemerkenswert, daß sich bei diesem Auffuchen die verschiedenen Arten der *Chytridiazeeen* und *Saprolegnia*zseen nicht mit der nächsten Wirtspflanze begnügen, sondern unter den verschiedenen im Wasser lebenden Gewächsen eine Auswahl treffen. Die Schwärmsporen schwimmen stets denjenigen Zellen zu, deren Protoplasma für sie den geeignetsten Nährboden abgibt, und legen sich auch nur an diese und niemals an andere für sie nicht passende Arten an.

Die auf lebenden höheren Landpflanzen schmarogenden Pilze können sich an verschiedenen Teilen ihrer Wirte ansiedeln, an Wurzeln, Knollen, Stengeln, Laubblättern, Blumenblättern, Antheren und Fruchtknoten. Die Ansiedelung erfolgt in allen Fällen auf dieselbe Weise. Wo immer durch Luft- oder Wasserströmungen herbeigeführte Sporen strandeten, oder wo Sporen, von Tieren abgestreift, hängen geblieben sind, keimen sie unter dem Einflusse der aus der Atmosphäre oder auch aus der Unterlage zugeführten Feuchtigkeit. Es treten aus ihnen schlauchförmige dünnwandige Hyphen hervor, die in die Stämme, Zweige, Blätter und Früchte des Wirtes hineinwachsen, und zwar bald von der Seite her horizontal, bald von obenher erdwärts, bald in entgegengesetzter Richtung aufwärts. Manche suchen solche Punkte auf, wo sich ihnen kein oder doch nur ein sehr schwacher Widerstand darbietet, tasten so lange an der Oberfläche der Wirtspflanzen herum, bis sie eine Spaltöffnung gefunden haben, benutzen diese als Eingangstür und gelangen so in jene Gänge und Kanäle, die in die Spaltöffnungen münden. Andere wieder suchen Stellen auf, wo die Oberfläche der Wirtspflanze leck geworden ist, wo durch das Abreissen oder andere Angriffe der Tiere, durch Windbruch, Hagelschlag und Schneedruck Wunden entstanden sind, die als Einfallstor benutzt werden können. Wieder andere schlagen den kürzesten Weg ein, stoßen sozusagen die Wand durch und bilden sich selbst das Einfallstor. Die Spitzen der Hyphen sowie auch die Ausstülpungen, welche die Hyphen bilden, haben bei vielen Pilzen die Fähigkeit, die Haut der Zellen an der lebendigen Wirtspflanze mit Hilfe ausgeschiedener Enzyme aufzulösen. Dort, wo sie sich anlegen, entsteht nach kurzer Zeit ein winziges Loch in der Zellhaut, und durch dieses bringt dann die Hyphe entweder ganz oder mit besonderen Fortsätzen in den Innenraum der angefallenen Zelle ein. Es ist dabei gleichgültig, ob die Hyphe eben erst aus einer keimenden Spore hervorgewachsen oder ob sie die Ausstülpung eines schon mehrere Jahre alten, zeitweilig in Ruhe versetzten, aber dann wieder energisch ausprossenden Myzeliums ist; die Fähigkeit, die Zellwände zu durchlöchern, kommt der einen gerade so wie der anderen zu.

Nicht so gleichgültig ist es dagegen, wie die Oberhautzellen des Wirtes an den Stellen aussehen, wo die Hyphe mit ihnen in Berührung kommt. Es fehlt nämlich auch nicht an Einrichtungen, durch welche die Wirtspflanzen gegen die Eindringlinge geschützt werden. Häufig ist über der äußeren Wand der Oberhautzellen eine mächtige Kutikula ausgebildet, und die ganze Oberhaut erscheint dann stark verdickt. Ist damit in erster Linie auch nur ein Schutz gegen eine zu weitgehende Verdunstung und Vertrocknung der saftreichen Zellen gegeben, so bildet eine derartige Verdickung andererseits auch einen Panzer, der nicht von jeder Hyphe durchbrochen werden kann. Noch mehr sichert eine doppelte oder dreifache Lage von dickwandigen, saftlosen Zellen, eine feste Rinde mit Kork oder eine tote, trockene Borke. Solche Panzer werden selbst durch die kräftigsten Hyphen nicht durchlöchert. Um sich dennoch Eingang zu verschaffen, zwängen sich allerdings manche Hyphen mit ihrer kegelförmigen Spitze in die Risse und Sprünge der Rinde ein, drängen dort die Schilder und Schuppen auseinander, sprengen sie auch geradezu ab, und so gelingt es ihnen endlich doch, Stellen zu erreichen, wo sie anbohren und ihre Minierarbeit mit Erfolg ausführen können. In der Mehrzahl der Fälle begnügt sich der Schmarogter nicht damit, nur die oberflächlichen Zellen des Wirtes anzubohren und auszufaugen; seine Hyphen wachsen vielmehr rasch immer weiter und weiter einwärts, häufig ohne Rücksicht auf die Zahl und Richtung der sich ihnen entgegenstellenden Scheidewände. So durchlöchern z. B. die Hyphen der im Holze lebender Bäume schmarogenden Löcherschwämme (Polyporazeen) ganze Reihen von Zellen, hier durch einen

gehöften Tüpfel hindurchwachsend und dort den gleichmäßig verdickten Teil der Wandung einer Holzzelle durchbohrend (s. untenstehende Abbildung, Fig. 3). Andere wieder, wie z. B. die Peronosporazeen, ziehen es vor, in die Räume zwischen den einzelnen Zellen, in die sogenannten Interzellulargänge, hineinzuwachsen. Die eingebetteten Hyphen bilden dann seitliche Ausfackungen, welche die Wandungen der an den Interzellulargang angrenzenden Zellen durchlöchern, in den Innenraum dieser Zellen eindringen und dort kolbenförmig anschwellen (s. untenstehende Abbildung, Fig. 1). Mit diesen kolbenförmigen, oft fast kugeligen Ausfackungen, welche den Namen Saugkolben oder Haustorien führen, saugt dann der Schmarozer aus dem lebendigen Protoplasma der durchlöcherten Zellen die ihm nötigen Stoffe.

Die Hyphen der ebenerwähnten schmarozenden Pilze haben das Eigentümliche, daß in dem Maße, wie sich das eine Ende wachsend verlängert, das andere Ende abstirbt. So



Hyphen schmarozender Pilze: 1 von einer Peronosporazee, 2 von einem Mehltau, 3 von einem Röhrenschwamm.
(Zu S. 385 und 386.)

bewegen sich diese Hyphen bohrend fort, und in dem einen Teil des überfallenen Holzkörpers sieht man die Hyphen gerade bei ihrer Minierarbeit beschäftigt und die Scheidewände durchwachsend, während in dem anderen Teil, wo die Hyphen früher tätig waren, zwar zahlreiche Bohrlöcher, aber keine Hyphen mehr zu sehen sind. Den Wirtspflanzen, welche von solchen schmarozenden, im Inneren wuchernden Pilzmyzelien befallen wurden, sieht man das äußerlich oft gar nicht an. Mitunter bleiben sie in ihrer Entwicklung etwas zurück, aber das könnte ebenfогut durch andere Ursachen, etwa durch einen ungünstigen Standort, veranlaßt sein. Erst dann, wenn die Myzelien wieder beginnen, sich zu vermehren und zu verbreiten, kommen sie aus dem Wirte teilweise heraus, wachsen mit ihren sporenbildenden Hyphen und Fruchtträgern über die Oberfläche empor und überlassen es den Winden, die abgegliederten Sporen zu verbreiten.

In der Regel sind die aus den Wirtspflanzen hervortretenden Sporenträger der schmarozenden Pilze durch ihre Farbe sowohl als durch ihre Form recht auffallend. Als bekannte Beispiele wären hier jene pulverigen, rostfarbigen, schokoladebraunen oder kohlschwarzen Sporenhäufchen zu erwähnen, welche unter den Namen Getreiderost und Getreidebrand bekannt sind, weiterhin die mehligten, orangegelben Massen, die an den grünen Stengeln und Früchten der

Rosen zum Vorschein kommen (*Azidium* des *Phragmidium subcorticium*), der in den Ästen gründer Lärchenbäume schmarozende Scheibenpilz *Peziza Willkommii*, dessen Sporenträger in Gestalt kleiner, scharlachroter Schüsselchen auf der Rinde erscheinen, weiterhin der gelbe Lächerichwamm (*Polyporus sulfureus*), dessen dottergelbe, kolossale, flache Hüte binnen einer Woche aus Lärchenstämmen hervornachsen, denen man von außen unmöglich ansehen konnte, daß sie im Inneren von einem Myzel ganz durchsetzt waren, dann die gleichfalls zu bedeutender Größe heranwachsenden *Polyporus betulinus* und *fomentarius*. Bei den beiden letztgenannten Pilzen stimmt die Farbe der Oberfläche des hutförmigen Sporenträgers so vollkommen mit der Borke des Baumes, auf dem der Pilz schmarozt, überein, daß der Hut des Birkenchwammes (*Polyporus betulinus*) an seiner Oberfläche völlig der weißlichen Borke der Birke gleicht und der Hut des auf alten Buchenstämmen schmarozenden *Polyporus fomentarius* ganz das matte Grau der Buchenstämmen zeigt. Aus dem halbseitig ausgebildeten, wie ein umgekehrtes Konsole an Buchenstämmen sitzenden *Polyporus fomentarius* wird der Zunder hergestellt. Die ebengenannten, zu den Hutpilzen gehörigen Schmarozger sind gefürchtete Baumvernichter in unseren Forsten; zu ihnen gehört auch der *Agaricus melleus*, der mit seinen orangefarbenen Hüten am Grunde der zerstörten Bäume hervorbricht (s. die Tafel bei S. 398, Abbildung 2). Der Waldspaziergänger hält die an Bäumen sitzenden Pilze gewöhnlich für einen harmlosen Anhang, ohne zu ahnen, daß das Erscheinen der Pilzhüte nur den letzten Akt einer Baumtragödie bedeutet.

In einem gewissen Gegensatz zu diesen, mit ihren Hyphen im Inneren der Wirtspflanzen ihr Wesen treibenden Schmarozern, stehen die auf Pflanzen schmarozenden Meltaupilze (*Erysipheen*). Diese befallen die grünen Blätter, Stengel und jungen Früchte und machen auf der Oberhaut der Wirtspflanzen ihre ganze Entwicklung durch. Bei flüchtiger Betrachtung erscheinen die befallenen Teile wie mit feinem Mehl oder mit Straßenstaub bestreut. Sieht man näher zu, so erkennt man ein zartes Gespinnst aus Fäden, die sich auf der grünen Unterlage vielfach verzweigen, kreuzen, neßförmig verbinden, stellenweise auch förmlich verfilzen und an einzelnen Punkten mit dunkeln kugeligen Sporengeläusen besetzt sind. Einzelne Hyphen dieses Gespinnstes lagern sich den Oberhautzellen der Wirtspflanze dicht an und lösen und durchlöchern die äußere Wand dieser Zellen an der berührten Stelle. Sie bilden dann Ausstülpungen, welche durch die gebildeten Löcher in den Innenraum der befallenen Oberhautzellen hineinwachsen, dort eine kolbenförmige Gestalt annehmen und den Inhalt dieser Zellen ausaugen. Tiefer als in die Oberhautzellen dringen die Myzelien der Meltaupilze nicht in die Wirtspflanze ein. Die Abbildung auf S. 385, Fig. 2, zeigt ein vom Meltau befallenes Blattstück des *Acanthus mollis*, in dessen Oberhautzellen die Hyphen Saugkolben hineingetrieben haben. Zu den bekanntesten Meltaupilzen zählt der Traubenschimmel (*Erysiphe* oder *Oidium Tuckeri*; s. die beigeheftete Tafel „Pflanzenkrankheiten“, Fig. 16 u. 17), welcher sich über die Oberhaut der noch unreifen grünen Beeren des Weinstockes spinnt, der wiederholt als verheerende Krankheit durch die weinbautreibenden Gegenden des südlichen und mittleren Europa seinen Umzug gehalten hat und 1852 den Weinbau Madeiras vernichtete. Auch Eichen werden häufig von einer Meltauart befallen, doch pflegen diese Pilze oft in Jahren, die sich durch gewisse, feuchte Winde auszeichnen, stärker aufzutreten und in anderen Jahren sich wenig bemerkbar zu machen. Die Abbildung auf S. 387 zeigt ein vom Meltau befallenes Eichenblatt. Mit der Bekämpfung dieser Feinde unserer Kulturen ist noch wenig erreicht worden, da diese Pilze durch ihre Sporen sehr wanderungsfähig sind. *Erysiphe*



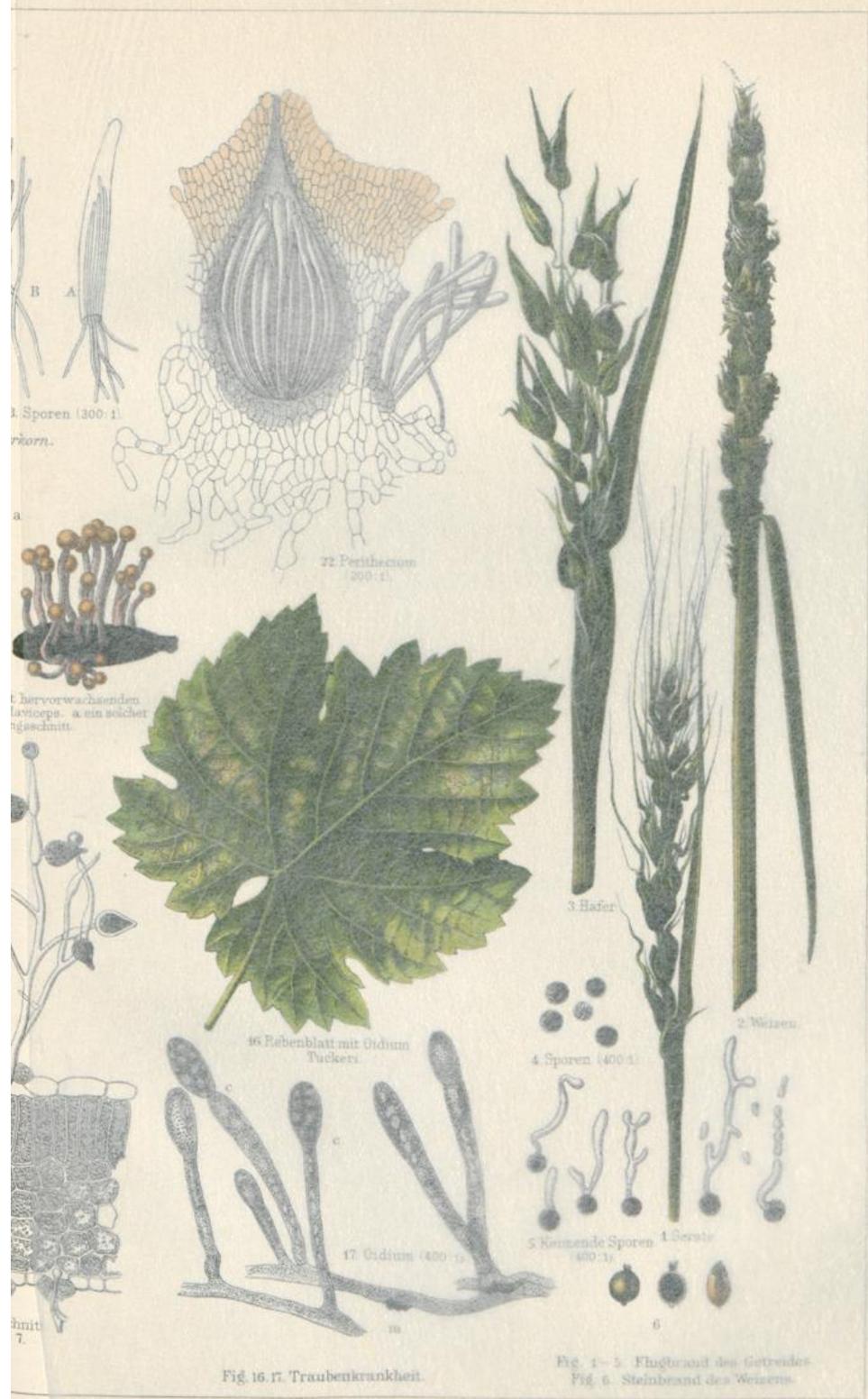
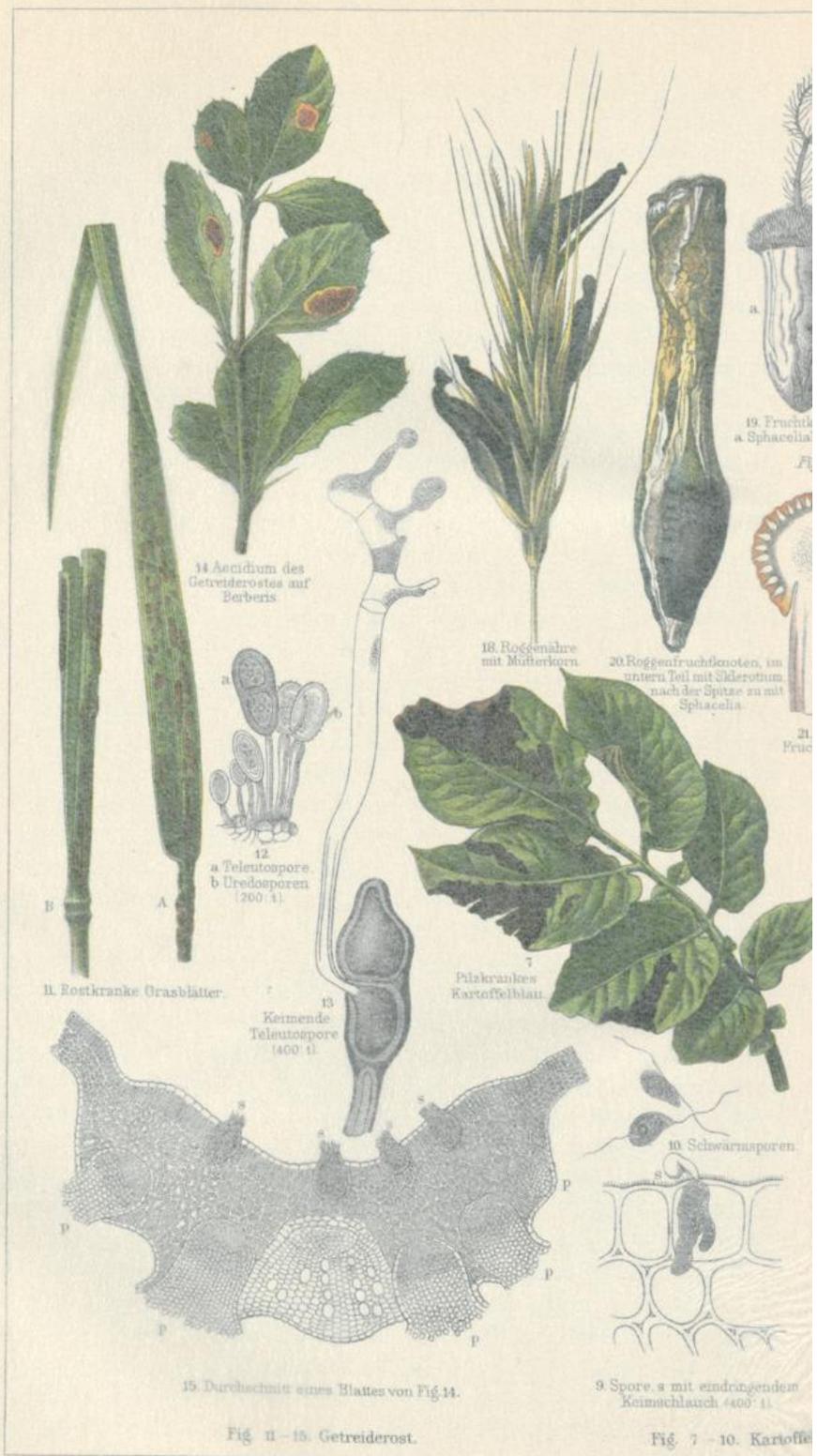


Fig. 16. 17. Traubenkrankheit.

Fig. 1-3. Flugbrand des Getreides.
 Fig. 6. Steinbrand des Weizens.

ankheiten.



Pfl.



Fig. 16. 17. Traubenkrankheit.

Fig. 1-5. Flugbrand des Getreides.
Fig. 6. Steinbrand des Weizens.

enkrankheiten.

Tuckeri wurde 1848 in England zuerst von Tucker in Treibhäusern beobachtet und wanderte von da durch ganz Europa. Der Eichenmeltau trat 1878 zuerst in Portugal, 1907 in Südfrankreich und 1908 in ganz Deutschland auf. Der Stachelbeermeltau ist sogar erst 1900 von Nordamerika aus in Europa eingewandert.

Als „falschen Meltau“ bezeichnet man Erkrankungen der Blätter, die den vorherbesprochenen äußerlich insofern ähnlich sehen, als die Blätter gleichfalls mehlig bestäubt erscheinen. Jedoch handelt es sich hier sowohl um ganz andere Pilze als auch um eine andere Erscheinung. Die Pilze, welche diese Krankheit erzeugen, gehören nicht zu den Erysipheen, sondern zu den Peronosporeen, deren Myzelium sich schon von denen der erstgenannten Familie durch den Mangel aller Querwände unterscheidet. So bildet das Myzel einen einzigen offenen protoplasmareichen Schlauch, allein es lebt nicht wie das der Erysipheen auf der Blattoberfläche, sondern verbreitet sich, nachdem der Keimschlauch der Sporen die Epidermis durchdrungen hat, in den Interzellularräumen. Die Sporenträger aber erscheinen nicht auf der Oberseite der Blätter, sondern wachsen aus den Spaltöffnungen der Blattunterseite heraus und bedecken als ein schimmelartiger Überzug die Blätter. Zu diesen Parasiten gehören zwei gefürchtete Feinde der Kulturpflanzen, nämlich *Peronospora viticola*, welche Ende der 1870er Jahre aus Nordamerika mit Reben eingeschleppt wurde und unsere Weinberge schwer schädigt, sowie *Phytophthora infestans*, eine Verwandte der vorigen Form; sie ist der Pilz der Kartoffelkrankheit und erzeugte im Jahre 1845 die erste große Epidemie, die den ganzen Kartoffelbau bedrohte, da der Pilz sowohl Blätter als Knollen befällt (s. die beigeheftete Tafel, Fig. 7—10). Die von den verzweigten Fruchtkörpern dieser Pilze abfallenden kleinen Kapseln entlassen mehrere Schwärmer (Fig. 10), die in den Wassertropfen, welche auf den Blättern haften, herumschwimmen und wieder andere Pflanzen infizieren können. Verwandt mit den Peronosporeen ist auch der Pilz, der im Herbst die Stubensfliege tötet. Schon die lebende Fliege wird von dem Myzel durchwachsen, das aus den den Tieren anhaftenden Sporen entsteht. Aus der toten Fliege wachsen dann die Sporenträger hervor, und die abfliegenden Sporen umgeben das tote Insekt mit einem weißen Hof. Dieser Pilz heißt *Empusa Muscae*.



Vom Meltau befallenes Eichenblatt.
(Zu S. 386.)

Als die größten Schädiger unserer Kulturen müssen die Rostpilze (Uredineen) gelten, denn sie vernichten in schlimmen Jahren oft ein Drittel der Roggen- und Weizenernte und verursachen Verluste von vielen hundert Millionen Mark. Ihre Entwicklung ist eine ganz besonders eigentümliche. Sie erzeugen zweierlei Sporen, die, nachdem das Myzelium die Stengel und Blätter durchwuchert hat, deren Oberhaut sprengen und im Sommer zuerst als kreisförmige oder strichförmige rostfarbige Flecke erscheinen. Diese rostfarbigen Sporen, denen die Pilze ihren Namen verdanken, sind die Sommer-sporen (Uredosporen), die sehr schnell durch den Wind auf ganze Felder verbreitet werden (Fig. 11). Gegen den Herbst werden die Flecke dunkelbraun, weil jetzt Sporen von brauner Farbe und anderer Form entstehen.

Es sind die Wintersporen (Teleutosporen), die nicht sogleich keimen, sondern mit den alten Blättern und Stengeln der Wirtspflanze, die zu Boden fallen, überwintern (Fig. 12). Diese Sporen bestehen meist aus zwei Zellen; sie bilden kurze Keimschläuche, von denen sich 3—4 kugelige Zellen abschnüren (Fig. 13). Erst diese Keimzellen erzeugen in den heranwachsenden Wirtspflanzen ein Myzel, welches aber nicht sofort wieder Sommersporen, sondern mehrere Zwischenformen bildet. Einmal entstehen becherförmige, in die Blätter eingesenkte Behälter (Azidien), in denen sich Sporen bilden (Fig. 14 u. 15). Diese Sporen erst erzeugen von neuem die Rostkrankheit; inwieweit kleine, flaschenförmige Gebilde (Spermogonien, s in Fig. 15), welche ganz kleine Zellchen abgeben, dabei beteiligt sind, ist unbekannt.

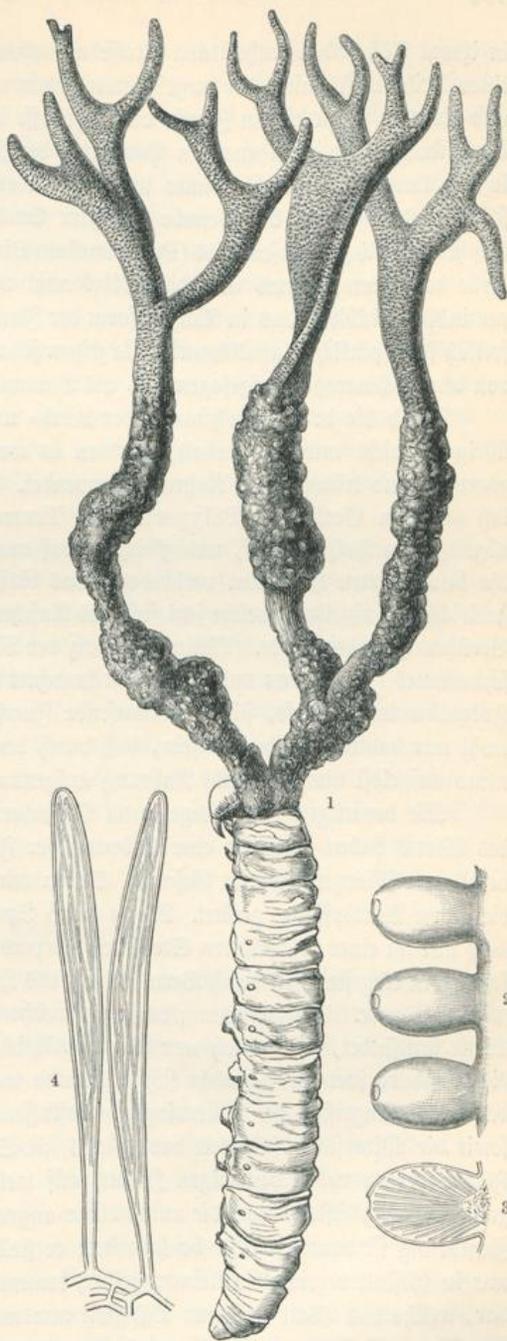
Manche Rostpilze sind gezwungen, diesen Entwicklungsgang auf zwei ganz verschiedenen Pflanzen zu durchlaufen. Sie springen mit ihren Sporenformen nach einer festen Regel zwischen zwei Pflanzen hin und her, zeigen also einen Wirtswechsel; ohne den Zwischenwirt können sie nicht gedeihen. So keimen die Wintersporen des Getreiderostes, *Puccinia graminis*, nicht auf Getreidepflanzen, sondern nur auf den Blättern der Berberitze, wo sie im Frühling Azidien und Spermogonien erzeugen (Fig. 14). Aber die Azidiumsporen keimen nur, wenn sie auf Roggenblätter gelangen, und bilden hier Sommer- und Wintersporen des Getreiderostes. Die meisten Uredineen zeigen einen solchen Wirtswechsel, er ist offenbar die Bedingung für die Ernährung und Befruchtung der Pilze. Unerklärlich ist aber, warum die beiden Wirte meist weit voneinander verschiedene Pflanzen sind. So wächst das Azidium des Kreuzkrautrostes auf Kiefernnadeln, das Azidium des Sadebaumrostes auf Birnbaumblättern, und so fort. Die Kenntnis der Wirte ist praktisch wichtig, weil durch Vernichtung des Sadebaumes in Birnbaumplantagen diese geschützt werden können. Ebenso läßt man keine Berberitzen neben Roggenfeldern aufkommen. Verderbliche Parasiten sind auch die Brandpilze (*Ustilagineen*), die beim Hafer, Weizen und Mais die Körner in schwarze Sporenmassen umwandeln, so daß die Ähren wie verkohlt aussehen (Fig. 1—5). Eine gewaltige Anzahl von Parasiten liefert die Pilzabteilung der Schlauchpilze oder Askomyzeten, die überall in der Natur auf zahllosen wildwachsenden Pflanzen wie Kulturpflanzen ihr Wesen treiben. Während ihr Myzel im Inneren der Pflanze lebt, treten ihre meist kleinen, schwarzen, braunen oder hellfarbigen Fruchtkörper als Pusteln und Wärzchen auf der Oberfläche der Organe hervor. In den Fruchtkörpern sitzen die schlauchförmigen Sporenbehälter, die die Pilze verbreiten. Zu den Askomyzeten gehört auch der Mutterkornpilz. Er erzeugt in Roggenähren an Stelle von Getreidekörnern einen hornförmigen, dunkelvioletten, giftigen Körper, der aus verwachsenen Myzelfäden besteht, anfangs an seiner Spitze Sporen abgliedert, dann aber völlig eintrocknet und einen harten, mit Öl vollgepropten Winterspeicher darstellt (Fig. 18—20). Im Frühling brechen aus seiner Oberfläche zierliche gestielte Köpfschen hervor mit vielen Vertiefungen auf der Oberfläche, in denen die Sporenschläuche sitzen. Die Sporen dieses Pilzes und seiner Verwandten haben jedoch eine abweichende Form von allen anderen, denn sie sind wie lange, dünne Stäbchen geformt (Fig. 21—23).

Verwandte dieses, *Claviceps purpurea* genannten Mutterkornpilzes siedeln sich auf Insektenlarven an. Als ihr Vorbild möge hier eine Art der Gattung *Cordiceps*, nämlich *Cordiceps Taylori* (s. die nebenstehende Abbildung), gewählt sein. Wenn die Sporen dieses *Cordiceps* auf junge Schmetterlingsraupen gelangen, entwickeln sich aus ihnen Hyphen, welche in das Innere des lebenden Tieres eindringen und dort ein Myzelium bilden. Die Raupen gehen nicht sofort zugrunde, sondern ernähren sich noch längere Zeit und nehmen an Größe

zu, sie lassen aber doch Krankheits Symptome nicht verkennen, namentlich sind sie träge und suchen verhältnismäßig früh jene Stellen auf, wo sie sich verpuppen sollen. Sie kriechen zu diesem Zweck unter die Erde. Es kommt aber dort nicht zur Umwandlung in Puppen, denn die Raupen sterben schon vorher ab, und nun wächst aus dem von dem Myzelium ganz durchwucherten Kadaver ein mächtiger, bis 6 cm langer Kolben hervor. Seltsamerweise entspringt derselbe dicht hinter dem Kopfe des toten Tieres (s. nebenstehende Abbildung, Fig. 1), verzweigt sich dann noch im Bereiche der Erde, sendet aber auch über die Erde Äste empor, welche den Eindruck von Hirschgeweihen machen. An diesem merkwürdigen Gebilde sieht man zahlreiche urnenförmige Behälter (Perithezien), aus deren Grunde sich mehrere Schläuche erheben (Fig. 2 u. 3). Jeder Schlauch enthält aber wieder mehrere langgestreckte fadenförmige Sporen (Fig. 4), welche, nachdem sie den Schlauch verlassen haben, neuerdings Raupen infizieren, in deren Eingeweiden zu einem schimmelartigen Myzelium auswachsen und den Tod der angefallenen Tiere zur Folge haben.

Auch unterirdische Parasiten gibt es, die nur auf Wurzeln von Bäumen schmarozgen. Dazu gehören die Trüffel, die in Eichenwäldern vorkommen und für den Handel, namentlich in gewissen Gegenden Frankreichs, aus dem Boden gegraben werden. Auch dieser Fruchtkörper wird durch das Myzelium ernährt.

Die kolbenförmig angeschwollenen, seltener schlauchförmig gewundenen Ausstülpungen, welche die Hyphen der im vorstehenden beschriebenen Schmarogerpilze in die Zellen der Wirtspflanzen hineintreiben, sind den Saugzellen der Erdpflanzen zu vergleichen. So wie aber die Saugzellen an den Wurzeln der Erdpflanzen nicht alle



Ein schmarozender Schlauchpilz, *Cordyceps Taylori*, dessen Myzelium in Raupen lebt. 1 Der geweihförmige Träger der Perithezien, welcher aus der befallenen Raupe hervorstößt und, wie die ganze Raupe, bis zu seiner Mitte in der Erde verborgen ist. Natürl. Größe. 2 Perithezien des Pilzes, 3 ein Perithezium im Längsschnitt, 50 bis 90fach vergrößert. 4 Zwei Schläuche aus einem Perithezium, die fadenförmige Sporen enthalten. 500fach vergrößert.

in ihrem Nährboden enthaltenen Stoffe aufnehmen, ebenso eignen sich auch die Hyphen nur einen Teil des Inhaltes der angebohrten Zellen mittels ihrer Saugkolben an. Zunächst lösen und zerlegen sie zu diesem Zwecke die Nährstoffe in den befallenen Zellen des Wirtes. Welche Verbindungen sie dann aus den Produkten der Zersetzung auswählen und welche sie zurücklassen, kann freilich nicht immer angegeben werden. Manchmal veranlassen die Pilze auffallende Zersetzungen der Gewebe bei ihrer Ernährung. So beobachtete man, daß, wo die Hyphen des Kiefernblasenrostes (*Peridermium Pini*) sich eingemischt hatten, die stickstoffhaltigen Teile des Protoplasmas und das Stärkemehl verschwanden, dagegen an ihrer Stelle Terpentinsel zurückblieb, das in Tropfenform der Innenwand der Zellen anhaftete. Das sind nun freilich sehr spärliche Anhaltspunkte; sie zeigen jedoch, daß nicht der ganze Zellinhalt unverändert von dem Schmarozer aufgefogen und als Baumaterial für den eigenen Leib verwendet wird.

Durch die in den Holzstamm der Laub- und Nadelhölzer eindringenden Hyphen wird übrigens nicht nur der Inhalt, sondern es werden auch die Wandungen der Zellen angegriffen und teilweise als Nahrung verwendet. Das Myzelium mehrerer Hutpilze, namentlich aus den Gattungen *Polyporus* und *Trametes*, löst zunächst den in den Zellwänden abgelagerten Holzstoff auf, und gleich darauf auch noch die sogenannte Mittellamelle, welche die benachbarten Holzzellen verbindet. Das bisher feste Holz wird dadurch morsch, und die gebleichten Holzzellen, welche jetzt fast das Ansehen von Asbestfasern haben, fallen bei leisester Berührung auseinander. Wenn das Holz der Lärche von dem Myzelium des gelben Löcherchwammes (*Polyporus sulfureus*) durchwuchert war, so findet man an der Innenwand der Holzzellen immer tiefe, schräg verlaufende Furchen, und auch dieser Substanzverlust kann wohl nur dadurch entstanden sein, daß durch den Einfluß der Hyphen Teile der Holzzellenwand aufgelöst und dann als Nahrung aufgenommen wurden.

Alle derartigen Zersetzungen und Veränderungen der Struktur im Bereiche der Zellen des Wirtes haben natürlich eine Störung der Funktion und ein schließliches Absterben des befallenen Pflanzenteiles im Gefolge. Selten wird aber durch die Schmarozer dieser Gruppe die ganze Wirtspflanze getötet. Wenn durch Spaltpilze das Blut eines Säugetieres zunächst auch nur an einer beschränkten Stelle des Körpers zersetzt wird, so verbreitet sich doch diese Zersetzung in kürzester Zeit durch Vermittelung des Herzens und durch den Blutkreislauf über den ganzen Körper. Die Zersetzung dagegen, welche durch die Hyphen in der oben geschilderten Weise stattfindet, pflanzt sich nur sehr allmählich von den zunächst angegriffenen Zellen auf die Nachbarn fort und schwächt sich mehr und mehr ab, je größer der Abstand von der Stelle des ersten Angriffes ist. Allerdings beeinflussen auch noch die Eigenart des Schmarozers sowie die Widerstandsfähigkeit des Wirtes die Schnelligkeit der Ausbreitung. In manchen Fällen werden neben denjenigen Zellen, auf welche sich der Angriff des Schmarozers direkt gerichtet hat, höchstens noch die unmittelbar angrenzenden Zellen verändert, und der Herd der Zerstörung ist dann ein sehr beschränkter; er stellt sich an den frischen grünen Blättern oft nur in Gestalt vereinzelter kleiner, gelber, brauner oder schwarzer Punkte, Flecke und Warzen dar, welche das Blatt in seiner Tätigkeit nur wenig beirren und nicht einmal ein früheres Vergilben, Welken und Abfallen desselben veranlassen. In anderen Fällen werden dagegen die ganzen Blätter und Stengel schlaff, schrumpfen ein, vertrocknen zu einer schwarzen Masse und sehen aus, als ob man sie verkohlt hätte (s. die Tafel bei S. 387, Fig. 7).

Ist die Infektion nur eine beschränkte, und bringt es die Wirtspflanze zustande, den Infektionsherd mit einem Walle von widerstandsfähigen Zellen zu umgeben, welche von den

Syphen nicht durchbohrt werden können, dann vermag die ergriffene Pflanze noch jahrelang fortzuleben. Man sieht bisweilen Bäume, deren Stamm zu zwei Dritteln morsch geworden ist, und nichtsdestoweniger treiben aus dem gesund gebliebenen Teil eines solchen Stammes noch viele Jahre hindurch frische beblätterte Zweige hervor. Es kommt auch vor, daß sich die befallenen Pflanzen des erkrankten und abgestorbenen Teiles entledigen. Wenn z. B. ein Ast des Lärchenbaumes von dem Myzelium des Scheibenpilzes *Peziza Willkommii* befallen wird, so gibt sich das äußerlich zunächst dadurch kund, daß die Nadelbüschel an diesem Aste schon im Sommer vergilben und ein herbstliches Ansehen bekommen; man sieht dann goldgelbe Nadeln zwischen den Ästen mit frischgrünen Nadeln gemischt. Gegen den Herbst zu kommen die scharlachroten, becherförmigen Sporenträger über der Astrinde zum Vorschein, im darauffolgenden Jahr ist dann regelmäßig der ganze Ast vertrocknet, dürr und tot, splittert im Anpalle des ersten heftigen Windes und fällt zu Boden; der Baum aber, der sich des getöteten Astes entledigte, grünt und wächst sonst unbeschädigt weiter. Nur dann, wenn etwa sämtliche Äste desselben von dem Myzelium dieses Pilzes durchwuchert sein sollten, geht der ganze Lärchenbaum zugrunde.

Recht sonderbare Erscheinungen rufen manche sehr einfache Askomyzeten hervor, die der Gattung *Taphrina* angehören. Ihr Myzel wuchert ungezählte Jahre in Zweigen der Bäume, ohne diese besonders zu gefährden. Aber es erzeugt eine krankhafte Verzweigung der Äste, welche man als Hexenbesen bezeichnet, weil sie als besenähnliche Büsche zwischen den normal erzeugten Ästen hängen. Solche Hexenbesen kann man auf Waldbäumen, Buchen, Hainbuchen, Weißerlen, Weißtannen, Birken usw., sowie auf Obstbäumen, namentlich Kirschbäumen, finden. Hier schaden sie deshalb, weil die Hexenbesen sich wohl belauben, aber keine Blüten und also auch keine Früchte erzeugen. Aus blühenden Kirschbäumen heben sich die Hexenbesen sehr deutlich hervor. Die Sporenschläuche des Pilzes erscheinen auf der Oberfläche der Blätter des Hexenbesens, verbreiten sich, dringen in gesunde Knospen ein und veranlassen so den krankhaften buschigen Wuchs der daraus entstehenden Zweige.

3. Die Saprophyten.

Wir sehen, daß überall auf der Erde, wo nur noch die Möglichkeit des Lebens gegeben ist, sich Leben regt und durchkämpft. Sogar auf dem eisigen Schnee der Gletscher, in dunkeln Höhlen und unter der Erde, wie auf den sonnedurchglühten Granitblöcken der Alpen fanden wir, wie früher geschildert, lebendige Algen, Pilze und Flechten. Da also Pflanzen diese ungünstigen örtlichen Bedingungen noch überwinden, ist es begreiflich, daß auch manche von ihnen mit den letzten Resten organischer Nährstoffe vorlieb nehmen, um bei kärglichem Unterhalte wenigstens noch ein Dasein zu führen. Es ist oben schon erläutert worden, daß, wo das Leben abstirbt, Stoffreste der Lebewesen sich ansammeln, besonders in Gestalt des Humus im Boden. Schon bei der Entstehung dieses Humus wirken eine Menge Lebewesen, vor allem Pilze, mit, die von dem abgestorbenen Laube und anderen Organteilen ihre Nährstoffe gewinnen und dabei ihre Substrate zum pulverigen Zerfall bringen. Sie lassen dabei aber immer noch kleine Mengen organischer Nährstoffe übrig, die wieder Nachkömmlingen anderer Form noch für ihre Vegetation dienen können, und so tut sich auf allen Substraten, die noch Reste von Nährstoffen enthalten, eine bunte Genossenschaft zusammen, die diese Reste aufzehrt. Solche Pflanzen nennt man Verwesungspflanzen oder Humusbewohner, besser jedoch Saprophyten. Denn nicht nur auf humosem Boden kommen diese von den Parasiten

verschiedenen Pflanzen vor, sondern auf allen möglichen Substraten. Auf tierischen Excrementen entwickelt sich eine mannigfaltige und formenreiche Flora kleiner zierlicher Pilze, und wir wissen, daß, wo im Hause Speisereste unbeachtet herumstehen, das Heer der Schimmelpilze davon Besitz ergreift. Wir nennen diese Speisen dann „verdorben“, aber der Pflanzenkenner kann hier reiche Studien über saprophytische Pilze machen.

Man findet Saprophyten nicht bloß auf festem Boden, sondern auch in scheinbar reinem Wasser klarer und kalter Gebirgsquellen, die sehr häufig Spuren von organischen Verbindungen enthalten. Es sind in dieser Beziehung auch die nachfolgenden Beobachtungen besonders bemerkenswert. In einem Stollen des Salzbergwerkes in Hallstatt (Oberösterreich), welcher durch den Felsen gehauen ist, und in dem sich kein Einbau, keine Verkleidung der Wände, kurz keinerlei Holzwerk befindet, war über dem glatten Kalksteine der Decke das Myzelium eines Pilzes (einer *Omphalia*) ausgebreitet, welches ohne Zweifel organischer Verbindungen als Nahrung bedarf. Ringsum war im Stollen kein in Zersetzung begriffener Tier- oder Pflanzenrest vorhanden, und das Myzelium ernährte sich nur durch Vermittelung des Wassers, welches, von oben her durch einige enge Ritzen des Gesteins in den Stollen eingesickert, die Fläche des Felsens neigte. Dieses Wasser kam von einer Wiese her, welche hoch oben über dem Stollen sich ausbreitete. Zwischen dem Stollen und dieser Wiese befand sich eine mächtige Schicht des Kalksteins und darüber noch eine tiefe Erdrume. Das Wasser war farblos und klar, enthielt etwas Kalk, von organischen Stoffen aber kaum nachweisbare Spuren. Und dennoch mußte dieses Wasser von der Wiese am Tage organische Stoffe in die Tiefe mitgebracht haben, deren äußerst geringe Menge genügte, um ein üppiges Wachstum des Pilzmyzeliums zu ermöglichen.

Im Bolderdale nächst Hall in Tirol fließt aus Schiefergestein in einer Seehöhe von 1000 m eine kalte, klare Quelle, deren Ursprungsstelle mit einem dichten, dunkeln Filz ganz erfüllt ist. Der Filz, von dem man handgroße Fetzen und Flocken herausheben kann, ist wieder das Myzelium eines Pilzes. Es haftet an den Schieferplatten, zwischen welchen das Quellwasser reichlich hervorrieselt, und kann seine Nahrung nur aus diesem Wasser erhalten. In der Umgebung der Quelle breiten sich Nadelwälder und Wiesen aus, aber es findet sich dort durchaus nicht mehr Pflanzenwuchs und auch nicht mehr Humus und morsches Holzwerk als in der Umgebung anderer Quellen.

Diese Fälle zeigen zur Genüge, daß selbst in den klarsten Gebirgsquellen eine zwar sehr geringe, aber doch zur Ernährung von Saprophyten genügende Menge organischer Stoffe gelöst enthalten sein kann. Wenn man die Entstehung der Quellen berücksichtigt, so wird ein solches Resultat eigentlich nicht überraschen. Die Quellen werden von den atmosphärischen Niederschlägen gespeist. Das in die Tiefe sickende Wasser dieser Niederschläge passiert zunächst eine mit Pflanzen bewachsene Erdrume, welche in ihren obersten Schichten mehr oder weniger Humus enthält. Daß nun auf diesem Wege das Wasser eine kleine Menge von Verwesungsprodukten aufnimmt, ist unvermeidlich, und wenn auch in tieferen Schichten der Erde wieder ein Teil dieser gelösten Verwesungsprodukte abgegeben wird, so bleiben immerhin noch Spuren derselben in dem viel tiefer als Quelle zutage tretenden Wasser zurück. Was sich aber an den größeren Wasseradern, die als Quellen zutage treten, zeigt, das findet sich gewiß auch an den kleinen Wasseräberchen, welche sich aus der durch Regen und Schneewasser durchfeuchteten Dammerde des Waldgrundes und aus der Humusdecke der Wiese entspinnen, in die Tiefe sichern und in den dort befindlichen Sand und Lehm übergehen.

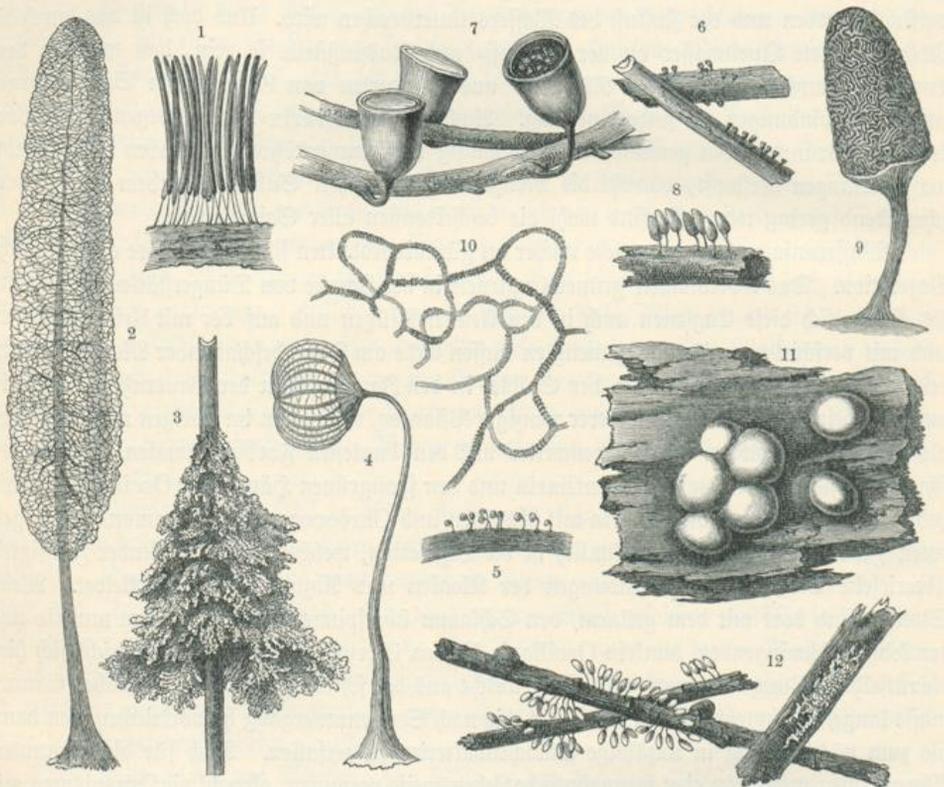
Auch das Vorkommen von Pilzmyzelien in Holzröhren, durch die ein Gebirgswasser fließt, ist hier zu erwähnen. In solchen aus Kieferstämmen angefertigten Röhren, die schon jahrelang zur Wasserleitung benutzt werden, und deren innere Holzschichten längst ausgelaugt sein müssen, entwickelt sich nicht selten das Myzelium des Pilzes *Lenzites sepiaria*, und zwar in solcher Üppigkeit, daß es große, gelblichgraue Flocken bildet, welche, von der Innenwand der Röhre ausgehend, im strömenden Wasser flottieren. Schließlich wachsen diese Flocken in dem klaren Quellwasser zu so umfangreichen Pilzmassen heran, daß die Röhren ganz verstopft werden und der Zufluß des Wassers unterbrochen wird. Und doch ist das durch die Röhre geleitete Quellwasser an der Einfluß- und Ausflußstelle so rein, daß man in dem durch Abdampfen gewonnenen Rückstand aus Hunderten von Litern kaum Spuren organischer Verbindungen zu finden vermag. Auch die *Crenothrix*-Arten, wegen ihres Vorkommens Brunnenfaden genannt, wachsen häufig in Brunnenröhren und haben sogar Stadtwasserleitungen verstopft, obwohl die Menge der organischen Substanz in dem Wasser verschwindend gering war. Es sind wohl die bescheidensten aller Saprophyten.

Wasseransammlungen, welche reicher an Fäulnisprodukten sind, haben ihre eigentümliche Vegetation. Das Vorkommen grüner Euglenen in der Jauche von Düngerstätten ist bekannt. Es finden sich diese Euglenen auch in den kleinen Pfützen und auf der mit Urin getränkten und mit verschiedenem Unrat gemengten nassen Erde am Fuße beschattender Mauern in unreinlichen, abgelegenen Straßen der Städte, in den Jauchepfützen der Bauernhöfe. Dort ist auch die Heimat einer Menge anderer winziger Pflanzen, welche den im übrigen nichts weniger als appetitlichen Boden nach Regenwetter mit den buntesten Farben bemalen. Neben den schwarzen Flecken der *Oscillaria antliaria* und den spangrünen Häuten der *Oscillaria tennis* hebt sich hier die *Palmella cruenta* mit blutroten und *Chroococcus cinnamomeus* mit ziegelroten Flecken ab. Ebenso eigentümlich ist die Vegetation, welche die von stinkender Flüssigkeit überrieselte Erde an den Mündungen der Kloaken und Abzugsgräben überkleidet. Weite Strecken sind dort mit dem grünem, den Schlamm überspinnenden *Hormidium murale* und der lebhaft schwingenden, dunkeln *Oscillaria limosa* überzogen, und vor allem macht sich hier die rätselhafte *Beggiatoa versatilis* breit, welche aus der schleimig-häutigen, weißlichen Grundmasse lange, schwingende Fäden aussendet, die nach Sonnenuntergang hervorkriechen, um dann bis zum nächsten Tag in unzählige Stäbchenbakterien zu zerfallen. Auch für die genannten Algenformen muß man eine saprophytische Lebensweise vermuten, obwohl die Organismen mit Chromatophoren mit den anorganischen Bestandteilen ihrer Substrate auskommen sollten.

4. Verwesungspflanzen im Humus der Wälder, Wiesen und Moore.

Ungemein reich an Verwesungspflanzen sind die schattigen, feuchten Waldgründe. Man begegnet dort Arten aus den verschiedensten Abteilungen des Pflanzenreiches, allen voran den Pilzen. Als Vertreter der Schleimpilze mit ihren äußerst zierlichen Sporangien sieht man namentlich die mennigroten Kugeln von *Lycogala Epidendron*, welche gruppenweise aus den vermodernden Baumstrünken hervorstechen, und die kleinen gestielten Sporenträger von *Stemonitis fusca*, *Dictydium umbilicatum*, *Craterium minutum*, *Arcyria punicea* und *Leocarpus fragilis*, die auf den abgefallenen verwesenen Blättern, Nadeln und Zweigen den geeignetsten Nährboden finden. Hier und da bemerkt man wohl auch die dottergelbe, schmierige Masse, aus der sich die Sporenträger des zuletzt genannten Schleimpilzes entwickeln, und die seltsame *Spumaria alba*, welche wie schaumiger Speichel von den abgestorbenen Grashalmen

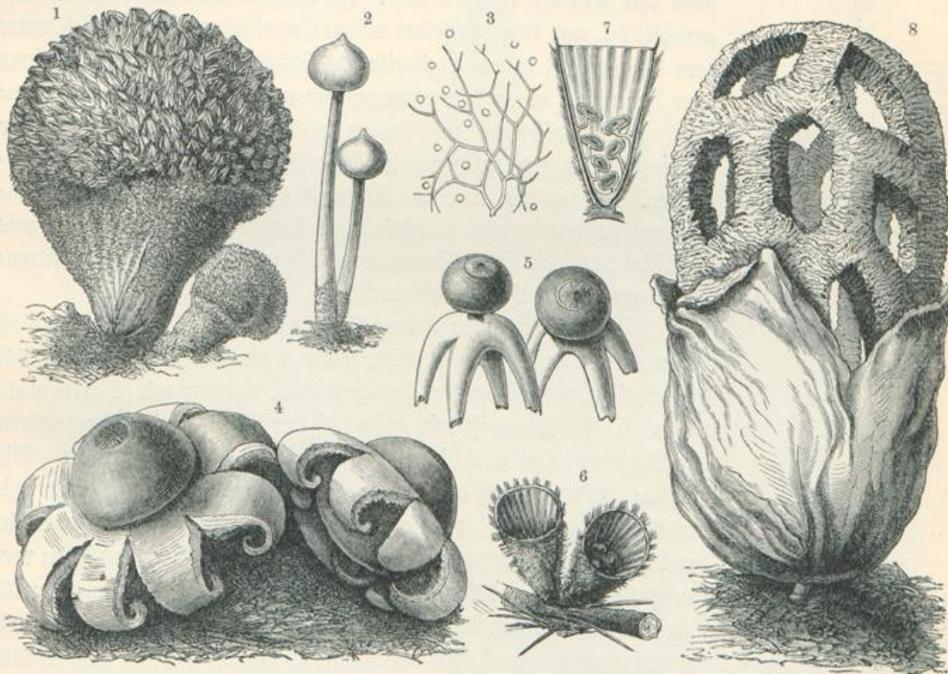
herabhängt (s. untenstehende Abbildung, Fig. 1—12). Stellenweise ist der Humus von dem weißen flockenartigen Myzelium der Bauchpilze (Gasteromyzeten) durchwuchert, und es wachsen aus ihm die seltsamen Formen von *Lycoperdon*, *Tulostoma*, *Geaster*, *Cyathus* und *Clathrus* hervor, welche auf S. 395 abgebildet sind. Die Erdsterne (*Geaster*) schlagen eine äußere Hülle in sternförmigen Lappen zurück, um aus der brüchigen Sporentapsel die Sporen bei trockenem Wetter zu entlassen. Bei feuchtem Wetter schließen sie infolge der Fähigkeit, leicht



Schleimpilze: 1 eine Gruppe von Sporentägern von *Stemonitis fusca*, natürl. Größe, 2 ein einzelner dieser Sporentäger, 6fach vergrößert; 3 Sporentäger von *Spumaria alba* an einem Grassblatte, natürl. Größe; 4 Sporentäger von *Dictydium umbellatum*, 25fach vergrößert, 5 eine Gruppe von Sporentägern desselben Schleimpilzes, natürl. Größe; 6 Sporentäger von *Craterium minutum*, natürl. Größe, 7 drei dieser Sporentäger, 25fach vergrößert; 8 Sporentäger von *Arcyria punicea*, natürl. Größe, 9 ein einzelner dieser Sporentäger, 10fach vergrößert, 10 ein Stück des netzförmigen Kapillitiums aus demselben, 160fach vergrößert; 11 Sporentäger von *Lycogala Epidendron* auf einem Holzstücke, natürl. Größe; 12 rechts ein *Plasmobium*, links mehrere Sporentäger von *Leocarpus fragilis* auf Holzstücken, natürl. Größe.

Wasser aufzunehmen, ihre Decken wieder über die Sporen. *Clathrus*, der Gitterschwamm, erhebt aus seiner äußeren zerreißenen Hülle einen schön roten gitterförmigen Körper, an dem der Sporenbrei bei der Reife abfließt. Auch aus dem Stamme der Schlauchpilze (*Ascomyzeten*) werden mehrere Arten, zumal aus den Gattungen *Spathularia* und *Leotium*, in den Waldrevieren beobachtet. Am reichlichsten vertreten erscheinen aber die Hutpilze (*Hymenomyzeten*). Sie fallen unter allen Verwesungspflanzen des Waldes am meisten in die Augen, nicht nur wegen ihrer überaus großen Zahl, sondern auch durch die Größe der Sporentäger und die lebhaften weißen, gelben, roten und noch verschiedenen anderen Farben, mit

denen sie sich von dem Dunkel des Waldgrundes abheben, wie der schöne, aber giftige Fliegenpilz. Nach einem mehrere Tage dauernden Sommer- und Herbstregen kann man Tausende und aber Tausende der Sporeenträger dieser Hutpilze, welche der Volksmund Schwämme nennt und gewöhnlich für den eigentlichen Pilz hält, aus dem Boden hervorkommen sehen. Die Pilzhüte sind aber nur die aus dem Bodenmyzel herauswachsenden Sporeenträger. An ihrer Unterseite entstehen an Lamellen, Röhren oder Zäpfchen die Sporen, welche von keulenförmigen Trägern (Basidien) abfallen, wie die Abbildung auf S. 396 zeigt. Die Pilzhüte erheben sich entweder unmittelbar aus dem dunkeln, von dem weißen Myzelium durchwirkten



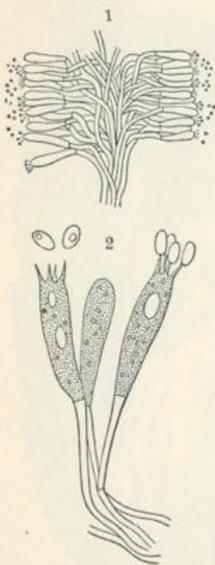
Gasteromyzeten (Bauchpilze): 1 *Lycoperdon constellatum*; 2 *Tulostoma mammosum*, 3 Kapillitium mit bazillenförmigen Sporen von *Tulostoma mammosum*; 4 *Geaster multifidus*; 5 *Geaster fornicatus*; 6 *Cyathus striatus*, 7 Längsschnitt durch diesen Sporeenträger; 8 *Clathrus cancellatus*. Fig. 3: 80fach, Fig. 7 um die Hälfte vergrößert, die übrigen Figuren in natürlicher Größe. (Zu S. 394.)

Humus, oder sie drängen sich durch die über dem Humus ausgebreitete Moosdecke empor. Nicht selten liegt das Myzelium dieser Hutpilze ziemlich oberflächlich und unspinnig mit seinen Fäden die in Verwesung übergegangenen untersten Teile der Moosstämmchen.

Da das Myzelium die Nährstoffe des Bodens aufbraucht, so wächst es, um neue Mengen aufzufuchen, strahlenförmig nach außen und stirbt innen ab. Wenn es genügend Stoff zur Erzeugung von Sporenhüten gesammelt hat, so heben sich diese an der Peripherie des oft mehrere Meter großen ausgezogenen Kreises empor, den das lebendige Myzelium im Boden bildet. Auf diese Weise entstehen die auffallend regelmäßigen Ringe von Pilzhüten, die der Volksmund als Hexenringe bezeichnet, weil die natürliche Entstehung ihm unklar ist. Abbildung 3 auf der Tafel bei S. 398 zeigt einen solchen Hexenring nach einer photographischen Aufnahme.

Der Humus, welcher im Grunde schattiger Tropenwälder aufgespeichert ist, beherbergt gleichfalls große Mengen chlorophyllloser und chlorophyllarmer Verwesungspflanzen.

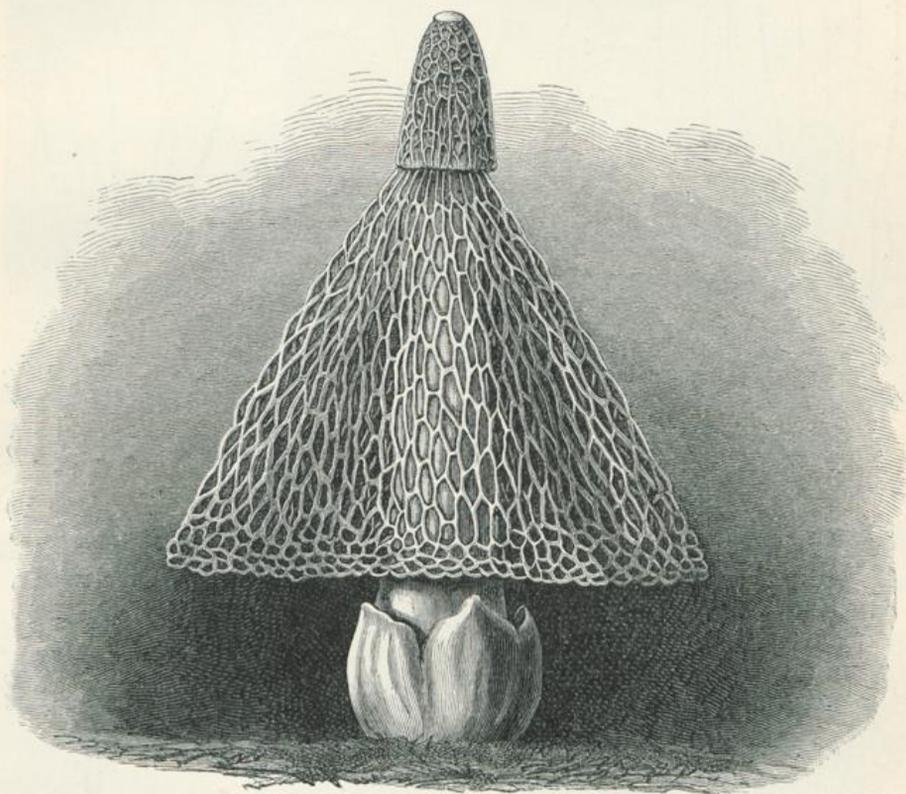
Merkwürdigerweise trifft man unter ihnen viele Vertreter jener Familien, welchen auch die Verwesungspflanzen in den gemäßigten Zonen angehören. Von den Pilzen ist eine der seltsamsten und auffallendsten Arten, *Dictyophora phalloïdea*, in der Abbildung auf S. 397 dargestellt. Dieser sonderbar aussehende, mit einem frauenrockähnlichen Netz bekleidete Pilz ist in den Tropen unter anderem im südlichen Brasilien verbreitet. Jung hat er die Form und Farbe eines Hühnereies. Die innere Haut reißt dann auf, und es streckt sich der dickstielige kleine Hut hervor, von dem das Netz herunterwallt. Der Pilz entwickelt sich nachmittags im tropischen Waldgebüsch, und zwar sehr rasch. In jeder Minute streckt er sich mehrere Millimeter, so daß man ihn geradezu wachsen sieht. In einigen Stunden steht er aufgerichtet da, und kurz vor seiner vollen Entwicklung entrollt sich unter dem kleinen Hut hervor ruckweise das schöne Netz. Der Pilz beginnt aber dann bald einen sehr unangenehmen Geruch auszuhauchen; dadurch zieht er offenbar Insekten an, welche die Sporen, die auf der Außenseite des grünen Hutes in einer schleimigen Masse kleben, verbreiten. Da der Pilz nur eine Nacht „blüht“ und dann bei Sonnenaufgang zusammenfällt, so scheint das Netz, welches glänzendweiß wie der Stiel durch die tiefe Dämmerung schimmert, zur Anlockung sporenverschleppender Insekten bestimmt.



1 Lamelle eines Blätterschwammes mit Basidien, im Querschnitte, 200fach vergrößert, 2 ein Teil davon, 500fach vergrößert. Die an den Basidien ausgebildeten Sporen haben sich zum Teil schon abgelöst, zum Teil sitzen sie noch an den pfriemenförmigen Fortsätzen der Basidien, den sogenannten Sterigmen. (Zu S. 395.)

Sporeenträger, von dem verschiedene Formen auf S. 398 abgebildet sind. Zunächst sind die Schimmelpilze unschädliche Gesellen, die sich aus den Substanzen, die sie befallen, Brot, Obst u. dgl., ihre Nährstoffe und auch die Nährsalze, deren sie, ähnlich den grünen Pflanzen, bedürfen, aufnehmen, wobei die Erzeugung von lösenden Enzymen beobachtet wurde. Aber manche von ihnen führen auch allerlei Zersetzung des Substrates herbei, veranlassen Alkoholgärung oder erzeugen unangenehm riechende Stoffe. Einige scheiden reichlich Oxalsäure aus, andere bilden auf zuckerhaltigem Nährboden Zitronensäure, so daß sie wegen ihrer chemischen Leistungen von Interesse sind. Vorzüglich sind die Arten der Gattungen *Mucor*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Botrytis* und *Eurotium* (s. Abbildung, S. 398) weit verbreitet. Der gemeine Pinselfschimmel (*Penicillium glaucum*) findet sich überall, mehr lästig als schädlich, ein. Man benutzt ihn aber auch zur Herstellung des grüngeräucherten Roquefortkäses. Sind die

Schimmelpilze unschädliche Hausgenossen, so findet sich gelegentlich auch zum Schrecken jedes Hausbesitzers ein Pilz ein, der mit dem Bauholz eingeschleppt wird, sich aber nur dann entwickelt, wenn die Balken nicht gründlich austrocknen. Das ist der Hauschwamm, *Merulius lacrymans*. Er gehört zu den *Polyporus*-Arten, entwickelt aber keine regelmäßig geformten Fruchtkörper. Feuchtigkeit ist sein Element, und in feuchten, schlechtgelüfteten Kellern entwickelt er sich oft zu großen Polstern, die, ursprünglich im Holze des Hauses wachsend, endlich auch die Mauerwände überziehen können. Auch lagernde Eisenbahnschwellen und andere Balken

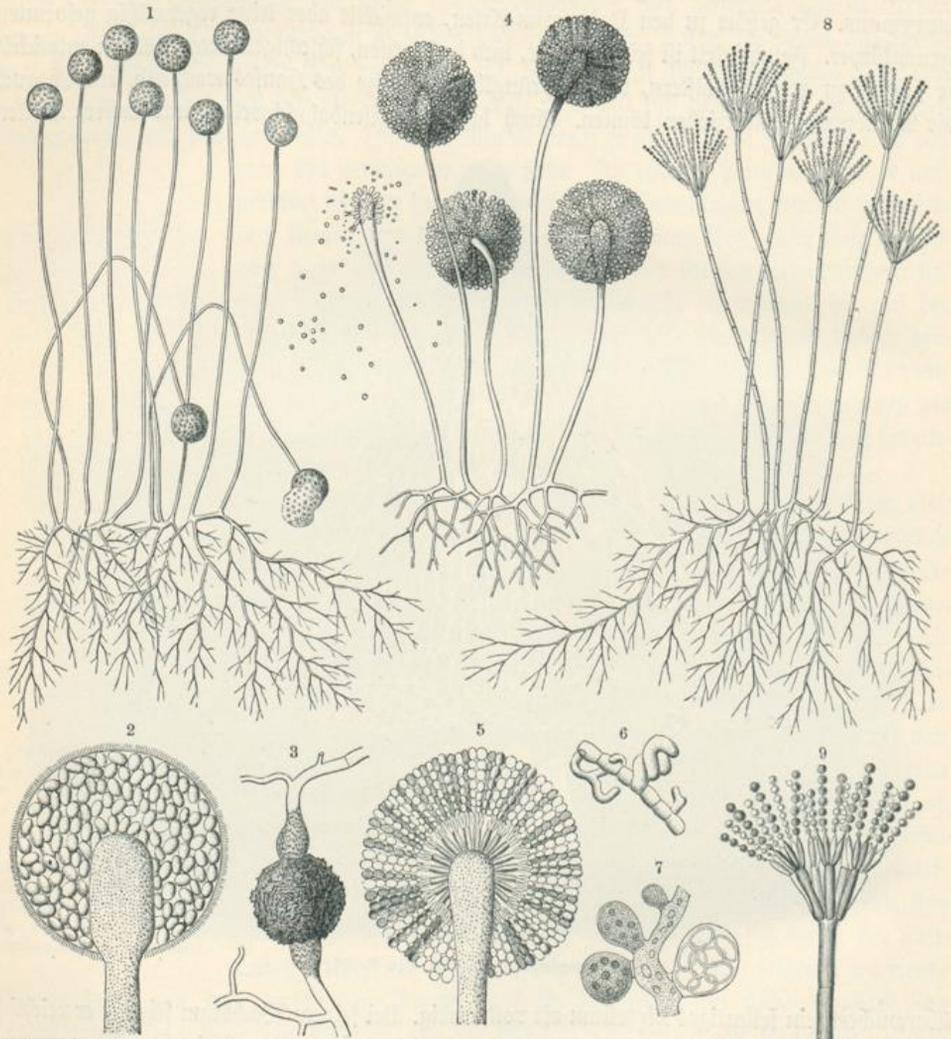


Dietyophora phalloidea. (Zu S. 396.)

überwuchert sein fellartiges Myzelium oft vollständig. Bei seinem Wachstum scheidet er reichlich Feuchtigkeit ab, die von dem Pelz heruntertropft; daher hat er den Beinamen *Lacrymans*, der Weinende, erhalten. Das Holz wird durch diesen Pilz in eine brüchige, zerreibliche Masse umgewandelt, wobei die Bretter durch Sprünge in viereckige Felder zerreißen. Die Sporenmassen sind braun und entstehen auf unregelmäßigen nierenförmigen Fruchtkörpern, die sich aus dem weißen Myzelpelz hervordrängen. Lüftung und dadurch veranlaßte Austrocknung ist das beste Mittel, das Auftreten des Hauschwammes in Räumen zu verhindern; ist er erst da, dann kann er nur durch Ersatz der kranken Balken und Dielen bekämpft werden.

Viel spärlicher als der schattige Waldboden ist der Grund humusreicher Wiesen mit Pilzen besetzt. Der Champignon, *Agaricus campestris*, ist ein Wiesenbewohner; auch die kugelförmigen *Boviste* haben hier ihren Standort, und manche kohlkopfgroße Formen ihrer

Fruchtkörper rufen berechtigtes Staunen hervor. Manchmal treten solche Pilzvegetationen recht charakteristisch in Massenentwickelungen hervor. So zeigt die Abbildung 4 der beigehefteten Tafel eine solche üppige Entwicklung des gemeinen, auf Rasenplätzen erscheinenden



Skizzen: 1 *Mucor Mucedo*, 40fach vergrößert, 2 Längsschnitt durch ein Sporangium von *Mucor Mucedo*, 260fach vergrößert, 3 Fruchtbildung von *Mucor Mucedo*, 180fach vergrößert; 4 *Aspergillus niger*, 30fach vergrößert, 5 Längsschnitt durch einen Sporenträger des *Aspergillus niger*; 6 Befruchtung des *Penicillium crustaceum* (nach Brefeld); 7 Sporangienbildung des *Aspergillus* (nach Eidam); 8 *Penicillium crustaceum*, 40fach vergrößert, 9 ein Sporenträger des *Penicillium crustaceum*, 200fach vergrößert. (Zu S. 396.)

Coprinus stercorarius, der leicht daran zu erkennen ist, daß er nach einigen Tagen unter Entstehung einer tintenschwarzen Flüssigkeit vergeht.

Bei dem Umstande, daß die meisten Saprophyten relativ nur wenig organische Stoffe als Nahrung aufnehmen, überrascht es um so mehr, zu sehen, daß viele derselben zu gewissen Zeiten sich doch so mächtig entwickeln. Wenn ein recht ausgiebiges Wachstum geschildert werden soll, so heißt es, die Dinge seien wie Pilze aus der Erde emporgeschossen,



1. Entrindeter und zerfallender Buchenstamm im Vogelsberg mit halbseitigen Hüten von *Polyporus fomentarius* (Feuerschwamm) befehlt, die jetzt saprophytisch weiterleben. Nach Photographie. (Zu S. 386.)
Die verschiedene Lage der Hüte am Stamm erklärt sich dadurch, daß derselbe von Walдарbeitern einmal umgedreht wurde.



2. *Agaricus melleus* Hallimach) am Fuße einer alten vernichteten Kiefer mit feinen Hüten hervorbrechend. Nach Photographie. (Zu S. 386.)



3. Ein Hexenring im Sichtenwald bei Gießen.
Nach Photographie. (Zu S. 395.)



4. *Coprinus stercorarius*, auf unkultiviertem Boden wachsend.
Nach Photographie. (Zu S. 398.)

und eine Persönlichkeit, welche rasch Karriere gemacht hat, wird ein Glückspilz genannt. In der Tat grenzt die Raschheit, mit der sich die Ausbildung der Sporenträger mancher Pilze vollzieht, ans Fabelhafte. Die auf Dünger lebenden *Coprinus*-Arten entwickeln über Nacht ihre langgestielten Hüte. Bis zum Abend des folgenden Tages sind diese Hüte schon wieder zerfallen und in Verwesung übergegangen, und man sieht an ihrer Stelle nichts weiter als eine schwarze, zerflossene, einem großen Tintenflecks ähnliche Masse. Das Gewicht des binnen 24 Stunden herangewachsenen Sporenträgers beträgt das Mehrfache von dem Gewichte des ganzen Myzeliums, welches ihn erzeugte, und es ist erstaunlich, wie dieses Myzelium, das doch wochen-, ja monatelang sich nur mäßig entwickelte und wenig an Umfang zunahm, ganz plötzlich und in so kurzer Zeit die Masse von Wasser und die Menge organischer Verbindungen, welche zum Aufbau der Strünke und Hüte nötig sind, aufzubringen imstande war.

In Beziehung auf die Qualität der Nahrung sind die Saprophyten weit wählerischer, als man erwarten möchte. Gewisse Pilze finden sich zwar allenthalben ein, wo Pflanzen in Verwesung übergehen, und es ist ganz gleichgültig, aus welchen Arten der Moder hervorgegangen ist, der ihren Myzelien als Nährboden dient. Auch für die in Dammerde nistenden Orchideen sowie für die meisten an die Baumborke gehefteten Laub- und Lebermoose ist es in der Regel ohne Belang, ob der die Unterlage bildende Baum zu den Nadelhölzern oder Laubhölzern gehört. Aber sehr viele Arten sind denn doch an ganz bestimmte, in Verwesung übergegangene Pflanzen- oder Tierreste gebunden. Um in dieser Beziehung einige Beispiele zu bringen, sei erwähnt, daß gewisse kleine, zu den Hutpilzen gehörende Arten von *Marasmius* nur auf vermodernden Fichtennadeln, ein anderer kleiner Pilz, *Antennatula pinophila*, nur auf abgefallenen Tannennadeln, das dunkeln Schriftzeichen gleichende *Hypoderma Lauri* nur auf den braunen, toten Lorbeerblättern und die winzige *Septoria Menyanthis* nur auf den unter Wasser verwesenden Blättern des Fieberflees (*Menyanthes trifoliata*) vorkommt. Die zimtbraunen Hüte von *Lenzites sepiaria* wachsen nur aus den gefällten abgestorbenen Stämmen der Nadelhölzer, die rußigen, schwarzen Sporenträger der *Bulgaria polymorpha* am häufigsten aus den gefällten Stämmen der Eichen heraus. Ein kleiner, scheibenförmiger, weißer, oben schwarz punktierter Pilz, namens *Poronia punctata*, wird nur auf Kuhfladen, ein anderer Pilz, *Gymnoascus uncinatus*, nur auf faulendem Mäuseskot und *Otenomyces serratus* nur auf verwesenden Gänsefedern gefunden. Noch unaufgeklärt ist es auch, weshalb viele humusbewohnende Hutpilze sich in Gesellschaft bestimmter Baumarten halten.

Wenn außer den Pilzen auch viele Farne, Moose und Blütenpflanzen den Humus bevorzugen, wie die Mondraute (*Botrychium Lunaria*), blau- und violettblütige Gentianen, mehrere Gräser, zumal das Borstengras (*Nardus stricta*), und auch viele Laubmoose, z. B. *Dicranum elongatum*, so ist für diese Pflanzen der Humus keine Quelle für organische Stoffe, sondern sie siedeln sich in diesem Boden gern an, weil seine physikalischen Eigenschaften, seine Wärmekapazität und sein Wasserbindungsvermögen für diese Pflanzen günstiger ist als ein leichter Sandboden. Wir werden in dem Kapitel über Ernährungsbeziehungen aber noch einen anderen Grund kennen lernen, warum manche Pflanzen nur im Humus der Wälder gedeihen und, ihren Standorten entnommen, in anderem Boden zugrunde gehen.

Man darf aber niemals aus dem bloßen Vorkommen von Pflanzen auf humusreichem Boden oder auf anderen organischen Substraten ohne weitere Untersuchung schließen, diese Pflanzen seien Saprophyten. Manche Chlorophyllpflanzen entziehen dem Humus nur die beigemengten Nährsalze. In Gebirgsgegenden, wo der Weidengang der Haustiere im Bereiche

der Wälder und Antriften üblich ist, bemerkt man auf den Lagerplätzen sowie entlang den von den Rindern eingehaltenen Pfaden an beschränkten Stellen Moose, welche durch ihr schönes Grün besonders auffallen. Sieht man näher zu, so ergibt sich, daß man es mit den merkwürdigen Splachnazeeen zu tun hat, welche sich die Exkremente der Tiere als Nährboden gewählt haben. Genau so weit, wie der Umfang eines Kuhfladens reicht, erstreckt sich auch der Bestand aus dem smaragdgrünen *Splachnum ampullaceum*; darüber hinaus ist keine Spur desselben zu sehen. Es macht dieses Moos alle seine Entwicklungsstadien auf der genannten Unterlage durch. Zuerst werden die durch den Regen oder durch das Wasser auf moorigen Triften feuchtgehaltenen Fladen von dem Vorkeim übersponnen und erhalten dadurch einen eigentümlichen grünlichen Schimmer an der Oberfläche, später sprossen Hunderte von grünen, dicht belaubten Stämmchen hervor, und auch die Sporengelüste, welche winzigen antiken Krügen ähneln und zu dem Zierlichsten gehören, was die Mooswelt aufweist, werden sichtbar. Ähnlich finden sich im arktischen Gebiete die prachtvollen großfrüchtigen *Splachnum luteum* und *rubrum* nur auf Renttierkot. *Tetraplodon urceolatus* trifft man im Hochgebirge nur auf den in Verwesung übergegangenen Exkrementen der Gamsen, Ziegen und Schafe, *Tetraplodon angustatus* dagegen auf den Exkrementen von Fleischfressern und *Tayloria serrata* auf zerfertigtem Menschenkot in der Nähe der Sennhütten. Sehr interessant ist auch das Vorkommen eines anderen zu den Splachnazeeen gehörenden Laubmooses, der *Tayloria Rudolfiana*. Gewöhnlich wächst daselbe auf den Ästen alter Bäume, zumal alter Ahorne, in der Boralpenregion, und man ist versucht, zu glauben, daß es in betreff seines Nährbodens eine Ausnahme von den anderen Splachnazeeen bilde. Sieht man aber näher zu, so überzeugt man sich, daß auch dieses Moos nur auf dem in Verwesung übergegangenen Kote von Tieren lebt. Regelmäßig beobachtet man nämlich in der Unterlage Reste von zerleinerten Mäuse- und Vogelknochen, und es kann keinem Zweifel unterliegen, daß sich diese *Tayloria* zur Ansiedelung die Exkremente ausgewählt hat, welche von Raubvögeln auf die Äste alter Bäume abgesetzt wurden. Auch von den auf der Baumrinde selbst lebenden Laubmoosen ist übrigens ein Fall erwähnenswert. Während für die meisten Arten der Gattung *Dicranum* der Moder aus den Strünken von Nadelholzbäumen die beliebteste und gesuchteste Unterlage bildet, findet man eine Art, nämlich *Dicranum Sauteri*, regelmäßig nur auf der Rinde der Rotbuche. Die verwetterte Rinde dieser Buche erscheint in den subalpinen Gegenden von den prächtigsten smaragdgrünen Fellen dieses Mooses überzogen, während auf den nebenstehenden Fichten und Kiefern keine Spur desselben zu sehen ist.

Hier wird also die an organischen Stoffen relativ reiche Unterlage doch nur wegen ihrer Feuchtigkeit oder Trockenheit von den Pflanzen aufgesucht, nicht wegen des Gehalts von organischen Stoffen, denn wir haben es mit lauter chlorophyllbegabten selbständigen Pflanzen zu tun.

VII. Ernährungsgenossenschaften.

1. Die Flechten.

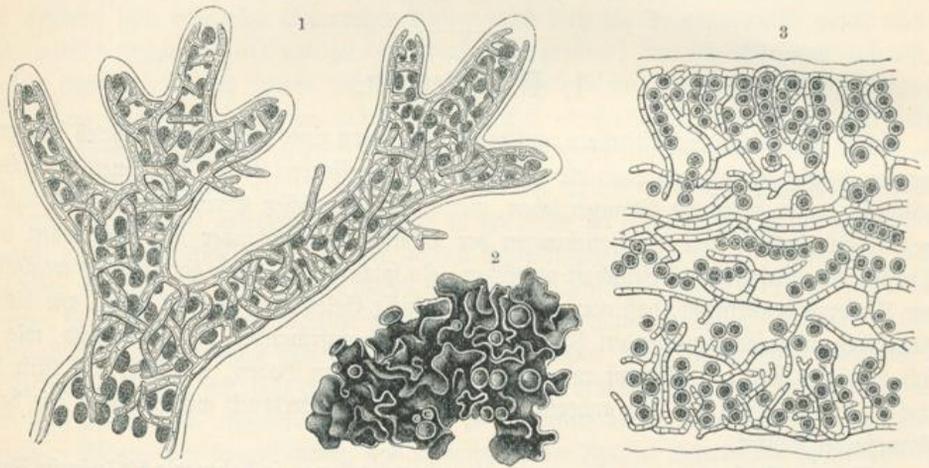
Von botanischen Schriftstellern, welche die Vegetation eines begrenzten Gebietes schildern, werden häufig die Pflanzenarten als „Bürger“ des betreffenden Landes bezeichnet. Die Verhältnisse, unter denen die Pflanzen leben, werden mit staatlichen Einrichtungen in Parallele gestellt und insbesondere die Beziehungen der Pflanzen untereinander mit dem Leben und Treiben der menschlichen Gesellschaft verglichen. Zu solchen Vergleichen hat nicht am wenigsten der Umstand beigetragen, daß man in der Tat häufig Gelegenheit hat, zu sehen, wie die in einer Gegend zusammenlebenden Pflanzenarten vielfach aufeinander angewiesen sind, wie sie sich in einem steten Wettkampf um die Nahrung, um den Boden, um Licht und Luft befinden, wie die einen von den anderen ausgebeutet und unterdrückt werden, ganz wie beim Kampfe der Völker.

Was die Ausbeutung der einen durch die anderen anlangt, so haben wir die äußerste Form der einseitigen Ausnutzung im Parasitismus kennen gelernt und trotz des festgeknüpften Verhältnisses, welches der Parasit mit seinem Wirt eingeht, können wir hier nicht von einer Genossenschaft reden. Der Wirt, dem der Schmarotzer sich aufgedrängt hat, deckt den Tisch, liefert die Speisen und Getränke, ohne bezahlt zu werden. Ja, er büßt sogar zum Dank sein Leben ein. In neuerer Zeit hat man aber Verhältnisse zwischen Pflanzen kennen gelernt, die äußerlich wohl das Aussehen des Parasitismus haben, aber bei näherer Untersuchung als ein friedlicheres Zusammenleben erscheinen, zuweilen zu beiderseitigem Vorteil, in anderen Fällen allerdings auch von einer gewissen Einseitigkeit, aber dann zum Vorteil der höher gearteten Pflanze. Ein solches auffallendes Gegenseitigkeitsverhältnis, welches man als Symbiose bezeichnet, liegt vor bei der formenreichen Pflanzenabteilung, die als Flechten bekannt sind.

Ihre Vertreter sind vom Meeresgestade bis zu den höchsten bisher von Menschen erreichten Felsgipfeln des Hochgebirges und von den Tropen bis in die arktische und antarktische Zone verbreitet. Als Genossen erscheinen in den Flechten einerseits Gruppen und Ketten rundlicher, ellipsoidischer oder scheibenförmiger, grüner oder blaugrüner Zellen, die man als Algen erkannt hat, und andererseits chlorophyllose, schlauchförmige Zellen oder Hyphen, wie wir sie bei den Pilzen kennen gelernt haben. Nachdem man lange Zeit nicht zu erklären gewußt, daß der Flechtenkörper stets aus algenähnlichen Zellen und pilzähnlichen Fäden zusammengesetzt war, erkannte man endlich, daß es sich um eine Vereinigung wirklicher Algen und Pilze handelte und die Flechten gar nicht mit den übrigen Pflanzen einheitlicher Abstammung

zu vergleichen seien. Das wurde noch klarer, als es gelang, Algen und Pilze aus dem Flechtenkörper zu trennen und für sich zur Entwicklung zu bringen und anderseits durch Zusammenbringen von Flechtenpilzen mit Algen künstlich Flechten zu erziehen.

Ein großer Teil dieser Flechten erscheint in Form von Krusten auf Steinen, Erde, Borke und altem Holzwerk, oder aber der ganze Flechtenkörper ist eingenistet und eingebettet in die Vertiefungen der verwitterten Steinoberfläche oder zwischen die Zellwandungen abgestorbener Holz- und Rindenteile, so daß man auf sein Vorhandensein oft nur durch die veränderte Färbung der Unterlage und durch die über die Unterlage emporgehobenen Sporenträger aufmerksam gemacht wird. Man nennt solche Flechten Krustenflechten. An diese reihen sich als eine zweite große Gruppe die Laubflechten an, deren Körpergestalt am

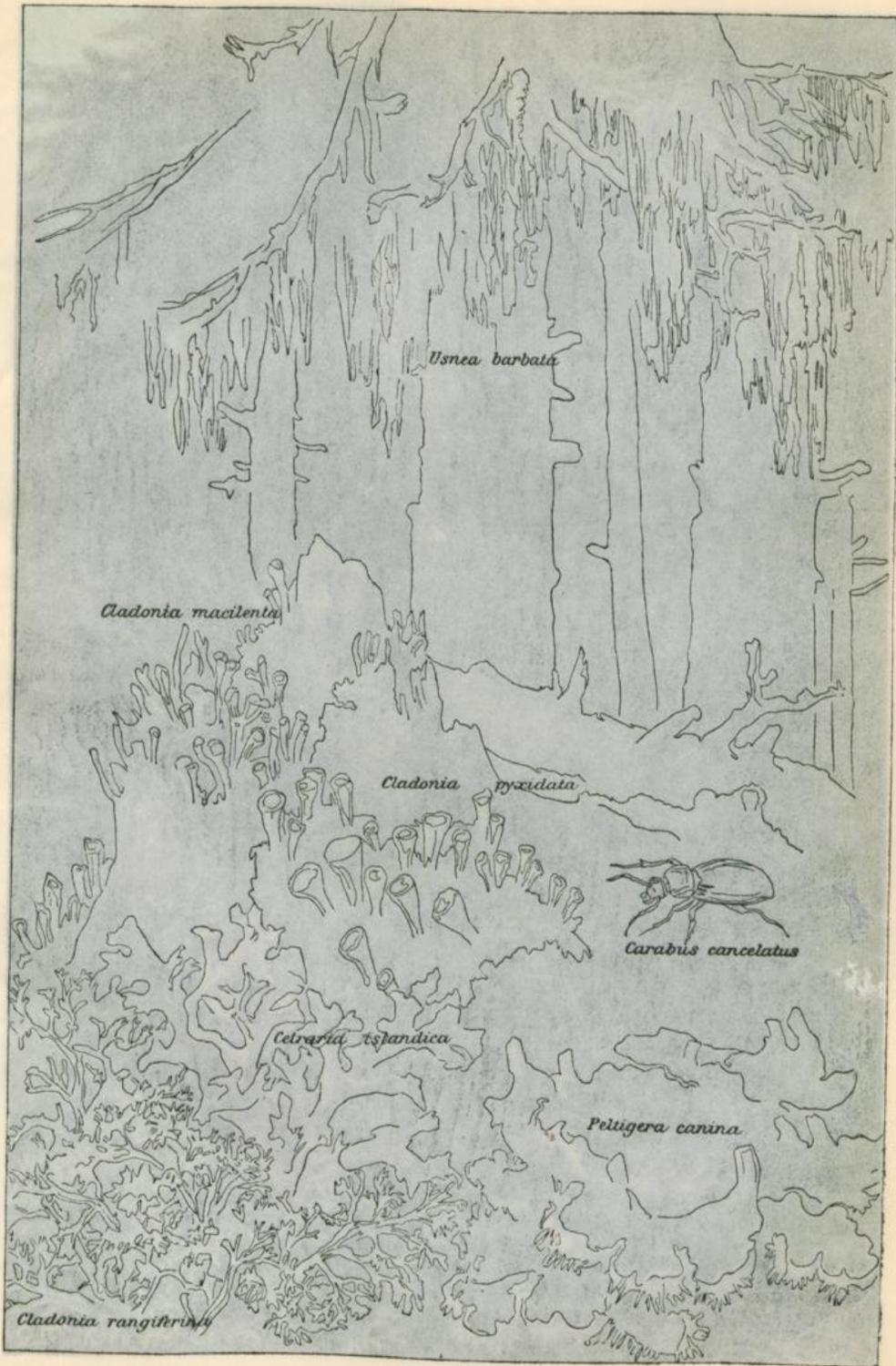


Gallertflechten: 1 *Ephebe Kernerii*, 450fach vergrößert; 2 *Collema pulposum*, in natürl. Größe, 3 Durchschnitt durch *Collema pulposum*; 450fach vergrößert. (Zu S. 403 und 404.)

besten mit den am Rande wellig hin und her gebogenen Laubblättern der Krauseminze oder mit wiederholt gabelig geteilten, unregelmäßig strahlenförmig auswachsenden Blattlappen verglichen werden kann, und die mit der Unterlage nur durch wurzelartige Fransen leicht verbunden sind, so daß es ohne Schwierigkeit gelingt, sie von derselben abzulösen. Die unterseits weiße, oberseits grüne, an den Enden der Lappen mit braunen Sporenträgern geschmückte Flechte (*Peltigera canina*) im Vordergrunde der beigehefteten Tafel „Laub- und Strauchflechten“ kann als Vorbild für die Gruppe dieser Flechten dienen. Als eine dritte Gruppe unterscheidet man die Strauchflechten, deren Körper von einer sehr kleinen Ansatzfläche ausgeht und sich in Form von Trichtern, Röhren und Hörnern, noch häufiger in Gestalt von vielfach verzweigtem Strauchwerk erhebt oder in Form von Fäden, Fransen und Bärten von der Borke alter Bäume herabhängt (s. auf der beigehefteten Tafel: *Cladonia macilenta*, *pyxidata* und *rangiferina*, *Cetraria islandica* und *Usnea barbata*). Eine vierte Gruppe bilden endlich die Gallertflechten, welche, befeuchtet, dunkel olivengrüne oder fast schwarze, gefaltete und verbogene gallertige Häufchen oder auch vielfach geteilte, zu kleinen Polstern zusammengedrängte Bänder und Streifen darstellen.

In den zuletzt genannten Gallertflechten bilden die Algenzellen perlenschnurförmige Reihen und sind durch die ganze Dicke des Flechtenkörpers hindurch mit den Hyphenfäden des Pilzes

[Zur Tafel: »Laub- und Strauchflechten«.]



Laub- und Strauchflechten.
Blech Aquarell von Carl Rezn.



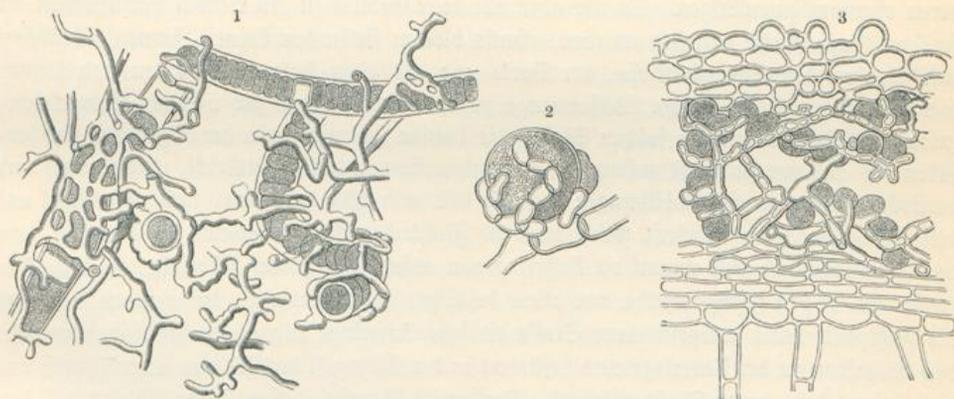
Laub- und Strauchflechten.
Nach Aquarell von Ernst Heyn.



Laub- und Strauchflechten.
Nach Aquarell von Ernst Heyn.

verfchlungen, wie bei *Collema pulposum* (s. Abbildung, S. 402, Fig. 2 und 3), oder sie bilden regelmäßige, bandförmige Doppelreihen, die von spärlichen Hyphen umspinnen werden, wie bei *Ephebe Kernerii* (s. Abbildung, S. 402, Fig. 1). In den Krustenflechten, Laub- und Strauchflechten bilden die Algenzellen ein regelloses Haufwerk oder regelmäßige Schichten, sind in der Mitte des Flechtenkörpers zusammengedrängt und erscheinen dort zwischen eine obere und eine untere Schicht dicht verfilzter Hyphenfäden eingelagert, wie bei *Coccocarpia molybdaea* (s. untenstehende Abbildung, Fig. 1—3).

Man war anfangs geneigt, die merkwürdige Vereinigung als einen auf der Alge parasitisch lebenden Pilz anzusehen, aber die beständigen Formen der Flechten, ihr dauerndes Gedeihen und ihre Verbreitung deutete darauf, daß der Parasitismus hier in der Form eines geordneten Zusammenlebens, als Symbiose, auftritt.



Strauch- und Laubflechten: 1 *Stereocaulon ramulosum* mit *Scytonema*, 650fach vergrößert; 2 *Cladonia furcata* mit *Protococcus*, 950fach vergrößert; 3 *Coccocarpia molybdaea*, Querschnitt, 650fach vergrößert. (Nach Bornet.)

Bei der weiten Verbreitung der Flechten könnte man voraussetzen, daß die zwei Geossen sich zu dem Flechtenkörper leicht zusammenfinden, da sie ungemein leicht und weit herumwandern können. Was den einen von beiden, jenen, der des Chlorophylls entbehrt und als Pilz bezeichnet wurde, anlangt, so ist uns die Vorstellung, daß allerwärts in der Luft Pilzsporen herumschwärmen, so geläufig, daß auch die Annahme eines gelegentlichen Strandens einzelner durch Winde fortgetriebenen Sporen an befeuchteten Bruchflächen der Steinblöcke keinem Widerstande begegnet.

Was aber die Algen anlangt, so denkt man bei Nennung dieses Namens zunächst an die grünen Bewohner unserer Tümpel und Teiche, und man fragt sich, wie es möglich sei, daß diese Pflanzen an die Bruchflächen von Steinblöcken, zumal jener auf den Schutthalben des Hochgebirges, kommen. Solche Algen sind es nun freilich nicht, welche an der Bildung der Flechten teilnehmen. Vielmehr finden wir in den Flechten Algen, die auch sonst auf festem feuchten Boden angetroffen werden, die grünen einzelligen Formen auf Baumrinden und besonders zahlreiche Arten der *Chroococcaezen*, *Scytonemazeen*, *Rivulariazeen*, *Noctocazeen*, welche dem Stamme der *Zyanophyzeen* angehören. Ihrer Kleinheit wegen entgehen sie leicht der Beobachtung und fallen überhaupt nur dann in die Augen, wenn sie in ungezählten Mengen die Borke der Bäume, Felswände, Steine und Erde überziehen. Sie bedürfen an diesen Stellen nur einer geringen Menge von Feuchtigkeit, und es ist für sie durchaus nicht

nötig, daß sie wie andere Algen unter Wasser leben. Es kommt auch vor, daß sie ohne den geringsten Nachteil austrocknen, so daß sie auf der Unterlage, die ihnen zur ersten Entwicklung diene, als pulverige Überzüge erscheinen, und in diesem Zustande können sie bei ihrem außerordentlich geringen Gewichte schon durch mäßig bewegte Luft abgehoben, fortgetragen und über Berg und Tal verbreitet werden.

Daß aber diese Verbreitung nicht nur eine hypothetische, sondern eine tatsächliche ist, konnte leicht durch folgenden in einem Tiroler Gebirgstal ausgeführten Versuch nachgewiesen werden. Eine mit feuchtgehaltenem weißen Filtrierpapier überzogene Tafel wurde mit ihrer Fläche dem Südwind ausgesetzt; schon nach wenigen Stunden haften an dem Papier zahlreiche staubartige Teilchen, und unter diesen befanden sich neben mannigfachen organischen Splintern, Pollenzellen und Sporen regelmäßig auch Zellgruppen von Nostocazeen und anderen obenerwähnten Algen. So wie aber alle diese Gebilde in den kleinen Vertiefungen der feuchten Papierfläche abgesetzt wurden, ebenso bleiben sie in den kleinen Rinnen, Grübchen und Spalten der Steinoberfläche, der Borke und des alten Holzwerkes haften und können hier, sobald ihnen die nötige Wassermenge zugeführt wird, auch zur weiteren Entwicklung gelangen. Treffen nun an solchen Stellen die kleinen Zellengruppen der Algen mit Hyphenfäden des anderen Partners zusammen, so werden sie von diesem umstrickt, umklammert und verflochten, wie es die Abbildungen auf S. 402 und 403 darstellen, und es entsteht auf diese Weise jene Genossenschaft, welche man als Flechte bezeichnet. Der eine der Genossen, dem das Chlorophyll abgeht, nimmt die Nahrung von außen auf, zumal Nährsalze, ist, wie schon früher (S. 155 f.) gezeigt wurde, vor allem befähigt, Wasserdampf zu kondensieren, hat auch die Fähigkeit, durch ausgeschiedene Stoffe die feste Unterlage teilweise aufzulösen, vermittelt das Anhaften an der Unterlage und bestimmt in der Mehrzahl der Fälle auch den Umriß und das Kolorit des ganzen Flechtenkörpers. Der zweite Genosse, dessen Zellen Chlorophyll enthalten, übernimmt die Arbeit, aus der von ihm aufgenommenen Luftkohlenäure unter Einfluß des Sonnenlichtes organische Substanz zu erzeugen, vermehrt mittels dieser seine Zellenzahl, wächst und vergrößert sich, gibt aber auch dem Genossen so viel organische Nahrung ab, wie nötig ist, damit dieser im Wachstume gleichen Schritt halten kann.

Die Zahl der in die Genossenschaft eingehenden Algenarten ist jedenfalls bei weitem geringer als jene der Pilze, und es muß angenommen werden, daß ein und dieselbe Algenart sich mit den Hyphen verschiedener Flechtenpilze verbinden kann. Wie außerordentlich mannigfaltig übrigens das Zusammenfinden der zweierlei Genossen auf sehr beschränktem Raume sein kann, geht schon aus dem Umstande hervor, daß auf einem handgroßen Fleck eines Felsens nicht selten ein halbes Duzend Anflüge verschiedener Flechtenarten unter- und nebeneinander auftauchen. Ob sie alle zu gleich kräftiger Entwicklung kommen, oder ob nicht vielleicht einzelne unterdrückt und von anderen überwuchert werden, hängt von verschiedenen äußeren Verhältnissen, von der chemischen Zusammensetzung der Unterlage und namentlich von den Feuchtigkeits- und Beleuchtungsverhältnissen des betreffenden Standortes ab. Gerade in dieser Beziehung sind die Flechten sehr empfindlich, und man sieht oft an ein und demselben Felsen an den verschiedenen Seiten eine ganz abweichende Flechtenvegetation ausgebildet. Sehr lehrreich und besichtigungswert ist in dieser Beziehung eine Marmorsäule in der Nähe des berühmten Schlosses Ambras in Tirol, welche wohl schon über zwei Jahrhunderte an ihrem Plage steht und zu allen Zeiten dem Wind und Wetter ausgesetzt war. Dieselbe ist achtflechtig. An allen acht Seiten haben sich Flechten angesiedelt, und zwar so reichlich, daß

der Stein auf handgroße Strecken von ihnen ganz bedeckt ist. Manche dieser Flechten sind nur kümmerlich ausgebildet und mit Sicherheit nicht zu bestimmen; im ganzen dürften aber ein Duzend verschiedener Arten vorkommen, für welche die Keime nur durch Winde herbeigebracht sein konnten. Diese Arten sind aber nichts weniger als gleichmäßig verteilt; einige sind auf dieser, andere auf jener Seite vorherrschend, und einzelne sind ausschließlich nur auf eine der acht Seiten beschränkt. Von drei *Amphiloma*-Arten ist *Amphiloma elegans* auf die dem Südwest ausgelegte wärmste Seite beschränkt, *Amphiloma murorum* ist an der Südseite, und zwar am oberen Teile der Säule, und *Amphiloma decipiens* an der Südseite, aber nur nahe der Erde zu sehen; an der Nordostseite herrscht *Endocarpon miniatum* und an der Nordwestseite *Calopisma citrinum* und eine *Lecidea* vor.

Wie viele Tausende von Sporen und Algenzellen mußten durch die Winde an diese Säule angeweht worden sein, damit alle diese Kombinationen entstehen konnten, und welche komplizierten Vorgänge mußten vorausgehen, bis die Auslese der für die verschiedenen Weltgegenden am besten geeigneten Flechten an dieser kleinen Marmorsäule erfolgte! Aber man würde nun doch fehlgehen, wenn man glaubt, daß alle Flechten, welche an einer Steinwand, einer Baumborke und dergleichen auftauchen, auf dieser Unterlage durch das Zusammentreffen von Algen und beliebigen Pilzen entstanden sind. Zunächst kann gar nicht jeder beliebige Schimmelpilz oder höhere Pilz mit einer Algenart eine Flechte bilden. Es sind vielmehr nur besondere Flechtenpilze, die dies tun, und zwar bei uns fast ausschließlich Askomyzeten, während man in den Tropen auch einige Flechten gefunden hat, bei denen der Pilz ein Basidiomycet ist. Hierbei übernimmt nun der Pilz die Sorge für die Fortentwicklung der Flechten, indem er kleine schüsselförmige Organe erzeugt, die man z. B. an der großen gelben Wandflechte dicht nebeneinandergestellt sieht. Diese Schüsselfchen nennt man Apothezien, und sie gleichen den Apothezien echter Pilze darin, daß sie Schläuche mit Sporen enthalten. Diese Sporen werden ausgeschleudert, und wenn sie keimen, so ist die Wahrscheinlichkeit, daß der Flechtenpilz in nächster Nähe einige Algen antrifft, um so größer, als in der Regel auch kleine Gruppen von Algen aus der Flechte ins Freie gelangen.

Die Flechten haben aber noch eine andere Art der Vermehrung, die sich in folgender Weise abspielt. Innerhalb eines ausgewachsenen, alten, größeren Flechtenkörpers trennen sich einzelne Zellgruppen von den anderen ab; jede derselben besteht aus einer oder aus mehreren grünen Algenzellen, die von Hyphen dicht umspinnen sind. Hat sich nun eine erkleckliche Zahl solcher Teilgenossenschaften ausgebildet, so lösen sich die kleinen Teilgenossenschaften, welche man Soredien nennt, von der Oberfläche der mütterlichen Flechte völlig los. Ein einzelnes Soredium erscheint dem unbewaffneten Auge nur als ein helles Pünktchen, alle zusammengenommen stellen sich aber als eine pulverige oder mehligte Masse dar, welche dem alten mütterlichen Flechtenkörper locker aufliegt. Bei trockenem Wetter wird nun diese mehligte Auflagerung durch den Anprall des Windes leicht abgehoben und mit anderen organischen Splittern fortgeweht. Gelangt dann ein solches Soredium in die Ritze eines Steinblockes oder sonst auf eine geeignete Unterlage, so entwickeln sich Algen und Hyphen desselben weiter, und es wächst das Gebilde zu einem größeren Flechtenkörper heran, an dem sich der eben geschilderte Vorgang bald wiederholen kann. In flechtenreichen Gegenden findet man unter den Elementen des organischen Staubes regelmäßig solche Soredien, und zwar gemengt mit Pilzsporen und Algenzellen; es kommt daher nicht selten vor, daß sich in derselben Steinritze knapp nebeneinander an der einen Stelle eine neue Flechte durch Begegnen und Verbinden

von Algen- und Pilzzellen bildet und an der anderen Stelle die ausgeschiedene Teilgenossenschaft einer alten Flechte weiter entwickelt.

Es ist leicht einzusehen, daß der Nutzen dieser Vereinigung von Pilz und Alge sehr weitgehend ist. Nur die Genossenschaft kann solche Standorte wählen, wo wir Flechten finden, sonnedurchglühete Granitblöcke, monatelang trockene Baumrinden u. dgl. Der Pilz wird auf vielen dieser Standorte keine Spur organischer Nahrung finden, die Alge würde an Feuchtigkeitsmangel zugrunde gehen. Nun liefert jeder dem anderen, was ihm fehlt. Durch Vereinigung ihrer Fähigkeiten können diese Kontrahenten sich nicht bloß unabhängiger verbreiten, sondern, was noch merkwürdiger ist, es entsteht aus ganz einfachen Einzelwesen eine Pflanzenform, die die Gestalt weit höher organisierter Pflanzen erreicht. Es ist offenbar die Verbindung der Pilze mit einem chlorophyllhaltigen Organismus, welcher zu dieser Formenbildung geführt hat. Wie das Chlorophyll bei den Chlorophyllpflanzen die Form beherrscht, indem es die Ausbildung der Flächen verlangt und bewirkt, so ist es auch bei den Flechten in dieser Richtung wirksam. Der Pilz hat durch die Vereinigung mit den chlorophyllhaltigen Organismen ganz seine typische Form verloren; die Flechten haben keine Ähnlichkeit mehr mit Pilzen, ihr Körper breitet sich flächenförmig aus und bildet in ganzen Abteilungen laubartige Gestalten. Solange der Pilz allein lebt, fehlt ihm die flache Gestalt; sobald Chlorophyll mit ihm in Verbindung tritt, bilden sich Formen, die zu denen der höheren Pflanzen sich erheben. Das Chlorophyll beherrscht das Leben, beherrscht die Gestalt.

Anhangsweise soll hier darauf aufmerksam gemacht werden, daß nicht alle Fälle des Zusammenlebens von Algen mit anderen Organismen Ernährungs-genossenschaften sind. Wenn z. B. regelmäßig in kleinen Höhlungen an der unteren Seite der Blätter von *Azolla* und in den Wurzeln von *Zykadeen* die Zellen kleiner Algen aus dem Stamme der *Zyanophyzeen* (*Anabaena Azollae* und *Cycadearum*) und im Stamme von *Gunnera* und in den Blattohren des Lebermooses *Blasia pusilla* Kolonien von *Nostoc* (*Nostoc Gunnerae* und *licheoides*) angetroffen werden, so handelt es sich nur um einen Unterschlupf für die Algen, in dem sie zweifellos ihren Feinden besser entgehen als im Freien. Diese Algen aber beziehen von ihrem Herbergswirte keine Nährstoffe, so wenig wie sie für ihn von Nutzen sind.

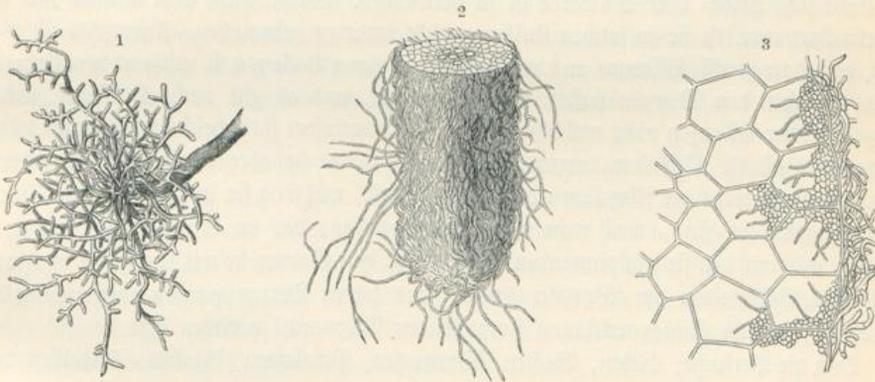
Es gibt also außer der Symbiose auch einseitige Genossenschaften. Zuweilen ist es recht schwer zu entscheiden, welche Art der Verbindung vorliegt. Wir werden im folgenden noch einige Ernährungs-genossenschaften schildern, bei denen diese Schwierigkeit der Erklärung auf-taucht, doch scheint es wahrscheinlicher, daß es sich hier wieder um wahre Symbiosen handelt, wie bei den Flechten.

2. Die Ernährungs-genossenschaft grünbelaubter Samenpflanzen und chlorophyllfreier Pilze.

Lange hat man nur die Ernährungs-genossenschaft der Flechten gekannt und sie als allein-stehend angesehen. Neuere Entdeckungen, welche wahrscheinlich machten, daß sogar höhere und niedere Pflanzen sich zu einer Genossenschaft vereinigen könnten, waren daher besonders über-raschend. Hierher gehört die Vereinigung von Samenpflanzen mit Pilzen.

Die Vereinigung beider Genossen erfolgt immer unter der Erde, und zwar in der Weise,

daß die Saugwurzeln der Samenpflanze von den Fäden eines Myzeliums umspinnen werden. Die erste aus den keimenden Samen hervorsprossende und sich in die Dammerde senkende Wurzel der in die Verbindung eingehenden Samenpflanze ist noch frei von Hyphenfäden, aber schon die Seitenwurzeln und noch mehr die weiteren Verzweigungen werden von den in der Dammerde schon vorhandenen oder dort aus Sporenkeimen hervorgehenden Myzelfäden umstrickt. Von da an bleibt dann die Verbindung bis zum Tode beider hergestellt. In dem Maß, als die Wurzel weiterwächst, wächst auch das Myzelium mit ihr und begleitet sie wie ihr Schatten nach allen Seiten. Die letzten Wurzelverzweigungen hundertjähriger Bäume und die Saugwurzeln einjähriger Sämlinge sind in gleicher Weise von den Myzelfäden umspinnen. Immer sind diese Myzelfäden oder Hyphen hin und her gebogen, vielfach verschlungen und bilden auf diese Weise einen Myzelmantel, der im Querschnitt einem Parenchym täuschend ähnlich sieht. Die Oberhaut mancher Wurzeln ist nun wie von einem Spinn-



1 Silberpappelwurzeln mit Myzelmantel; 2 Spitze einer Buchenwurzel mit dicht anschließendem Myzelmantel, 100fach vergrößert (nach Frank); 3 Durchschnitt durch ein Wurzelstück der Silberpappel, das Myzelium ist in die äußersten Zellen der Wurzel eingebracht, 480fach vergrößert.

gewebe überzogen, und die Hyphenfäden bilden Bündel und Stränge, die sich mannigfaltig verstricken und Maschen zwischen sich offen lassen, durch welche man die Wurzel hindurchstiebt; in anderen Fällen hingegen ist eine zwar gleichmäßig gewobene, aber sehr dünne Schicht um die Wurzel gezogen, und wieder in anderen Fällen bildet der Myzelmantel eine dicke Schicht, von welcher die ganze Wurzel gleichmäßig umhüllt wird (s. obenstehende Abbildung, Fig. 1 und 2). Man hat daher diese enge Verbindung von Wurzel und Pilzfäden Mykorrhiza genannt. Stellenweise dringen die Hyphen auch durch die Wände in die Oberhautzellen ein, und diese erscheinen mit einem ungemein feinen, engmaschigen Myzelneze durchwuchert (s. obenstehende Abbildung, Fig. 3). Nach außen zu ist der Myzelmantel entweder ziemlich glatt und grenzt sich deutlich von der Umgebung ab, oder es gehen von ihm einzelne Hyphen und Hyphenbündel aus, welche die Erde durchziehen. Wenn diese sich abzweigenden Hyphen ziemlich gleichlang sind, machen sie fast den Eindruck von Wurzelhaaren und übernehmen auch die Rolle von solchen. Die Oberhautzellen der Wurzeln, welche sonst zu Saugzellen auswachsen, können, eingeschlossen in dem Myzelmantel, diese Tätigkeit nicht entfalten und haben das Geschäft des Aufsaugens von Flüssigkeit aus dem Erdboden an den Pilzmantel abgetreten. Dieser wirkt auch unzweifelhaft als Saugvorrichtung für den Genossen, an dessen Wurzeln er sich entwickelt hat, und das Bodenwasser sowie alle in diesem Wasser gelösten mineralischen

Salze und anderen Verbindungen gelangen durch Vermittelung des Pilzmantels aus dem umgebenden Erdreich in die Oberhautzellen der betreffenden Wurzel und von da weiterhin bis hinauf in die Stämme, Zweige und Laubblätter.

So bringt das Pilzmyzelium einer grün belaubten Pflanze, mit deren Wurzel es sich verbunden hat, nicht nur keinen Nachteil, sondern einen entschiedenen Vorteil, und es ist sogar fraglich, ob manche grün belaubte Pflanzen ohne Mithilfe der Pilze überhaupt gedeihen können. Die Erfahrungen, welche man bei der Kultur solcher Bäume, Sträucher und Kräuter, deren Wurzeln einen Pilzmantel zeigen, gewonnen hat, sprechen wenigstens nicht dafür. Jedem Gärtner ist es bekannt, daß es nicht gelingt, die Rauschbeere, die Eriken und Pirolazeen, die Preisel- und Heidelbeersträucher, die Alpenrosen, die Rotbuche usw. in gewöhnlicher Gartenerde erfolgreich aufzuziehen. Man wählt darum bekanntlich zur Kultur dieser Gewächse Heide- oder Dammerde aus der obersten Schicht des Waldbodens. Aber auch nicht jede Heide- oder Walderde ist zu verwenden. Wenn solche Erde längere Zeit ganz ausgetrocknet war, ist sie zu solchen Kulturen nicht mehr zu gebrauchen. Andererseits ist es bekannt, daß man gewisse Pflanzen aus dem Walde mit ihren Ballen, d. h. mitsamt dem Erdreiche, welches zwischen den Wurzeln haftet, verpflanzen soll, und es gilt auch als Regel, daß die Wurzeln solcher Pflanzen nicht entblößt und am allerwenigsten stark beschnitten werden dürfen. Warum das alles? Offenbar darum, weil frische Heideerde oder kürzlich im Waldgrunde gegrabene Dammerde die Myzelien noch lebend enthält, während sie in dem trockenen Humus bereits abgestorben sind, weil man mit dem Erdballen, der an den Wurzeln hängt, die Wurzeln mitsamt den sie umspinnenden Myzelien in den Garten bringt, und weil man durch ein starkes Beschneiden der Wurzeln gerade jene letzten Verzweigungen entfernen würde, welche mit dem als Saugvorrichtung fungierenden Pilzmantel versehen sind.

Daß die Versuche, Eichen, Buchen, Alpenrosen, Pirolazeen, Ginster, Seidelbast durch sogenannte Stecklinge zu vermehren, immer mißlingen, wenn man die abgeschnittenen, zur Vermehrung verwendeten Sprosse in reinen Sand setzt, ist in derselben Weise zu erklären. Rosen, Efeu, Nelken, deren Wurzeln keinen Pilzmantel besitzen, werden sehr leicht vermehrt, indem man deren abgeschnittene Zweige in feuchten Sand steckt. An den in den Sand eingesenkten Teilen solcher Zweige entstehen alsbald Wurzeln, deren Saugzellen die Nahrungsaufnahme aus dem Boden besorgen. Wenn dagegen die in den Sand gesteckten Zweige der Eichen, Buchen, Alpenrosen usw. Wurzeln ansetzen, so ist ein Fortschritt in deren Entwicklung nicht zu bemerken, weil die oberflächlichen Zellen dieser Wurzeln ohne Verbindung mit einem Myzelium zur Nahrungsaufnahme nicht befähigt sind. Nur wenn man die Zweige dieser Gewächse in einen Sand steckt, der reichlich mit Humus gemengt ist, und zwar mit einem eben erst dem Wald oder der Heide entnommenen Humus, der die Sporen von Pilzen enthält, so gelingt es manchmal, einzelne Stecklinge zur weiteren Entwicklung zu bringen. Häufig ist auch dann der Erfolg noch nicht sicher, und die Stecklinge der genannten Pflanzen sterben auch im humushaltigen Sande früher ab, ehe sie Wurzeln ansetzen. Da auch die Versuche, Keimlinge von Rotbuchen und Tannen in Nährlösungen, wo von der Verbindung mit einem Myzelium keine Rede sein konnte, heranzuziehen, gezeigt haben, daß die Pflänzchen eine kurze Zeit kümmerlich vegetierten, endlich aber abstarben, so kann man wohl mit gutem Grund annehmen, daß die Hülle aus Myzelsäden für die in Rede stehenden Samenpflanzen unentbehrlich, und daß beiden nur im genossenschaftlichen Verbande die Gewähr für ihr Fortkommen gegeben ist.

Es ist zu erwarten, daß auch die Pilzmyzelien aus den Samenpflanzen, deren Wurzeln sie überkleiden, und denen sie die Dienste von Saugzellen leisten, irgendeinen Vorteil ziehen. Dieser Vorteil ist aber ohne Frage derselbe, welchen die Hyphenfäden des Flechtenkörpers von den umspinnenen grünen Zellen haben; die Myzelmäntel beziehen aus den Wurzeln der Samenpflanzen jene organischen Verbindungen, welche durch die grünen Blätter oberirdisch im Sonnenlicht erzeugt worden sind, und welche von dort zu allen wachsenden Teilen, namentlich auch nach abwärts zu den wachsenden und sich verlängernden Wurzelenden, geleitet werden. Hiernach besteht also die Teilung der Arbeit zwischen den Ernährungs-genossen darin, daß das Pilzmyzelium der grün belaubten Pflanze Stoffe aus dem Boden, die grün belaubte Pflanze aber dem Myzelium Stoffe, die oberirdisch im Sonnenlichte bereitet wurden, zuführt. Es fehlt jedoch noch ein klarer Einblick in die Bedeutung dieser Gemeinschaften; vor allem steht es nicht fest, welcher Art die Stoffe sind, die von den Myzelien den Samenpflanzen zugeführt werden. Man hat vermutet, daß die Pilzmyzelien vorwiegend Stickstoffverbindungen erzeugten und den Baumwurzeln zuführten, aber eine solche Tätigkeit der Myzelien hat doch nicht nachgewiesen werden können. Von anderen Forschern ist angenommen worden, daß die Myzelien besonders bei der Nährsalzzuführung tätig wären.

Der Kreis der Arten, welche in dem hier geschilderten genossenschaftlichen Verbande leben, ist jedenfalls ziemlich groß. Zahlreiche Preiseln, Heidesträucher, Lorbeerartige und Nußfrüchtige, mehrere Weiden und Pappeln, Schlehen und Linden sind bei ihrer Ernährung auf die Mithilfe der Myzelien angewiesen. Auch scheint dieses Verhältnis sich in allen Zonen und Regionen zu wiederholen. Die Wurzeln des Erdbeerbaumes am Strande des Mitteländischen Meeres sind gerade so wie die Wurzeln der dem Boden aufliegenden Rauschbeere in den Hochalpen mit dem Myzelmantel ausgestattet.

Eine besondere Bedeutung gewinnt diese Ernährungs-genossenschaft auch noch dadurch, daß unter den beteiligten Samenpflanzen solche Arten vorwalten, welche, in Beständen wachsend, ganze Strecken überdecken, endlose Heiden und unermessliche Wälder zusammensetzen, wie namentlich Pirolazeen, Heidekräuter, Ginster, Eichen, Buchen und Tannen. Welch merkwürdiges Leben unter der Erde, allerorten, auf der weiten Heide, in solchen großen Waldbeständen!

Es wird nun auch erklärlich, wie es kommt, daß gerade im Grunde der Wälder eine solche Fülle von Pilzen zu Hause ist. Gewiß bezieht ein Teil dieser Pilze des Waldbodens seine Nahrung ausschließlich aus den aufgespeicherten abgestorbenen Pflanzenteilen, aber ebenso gewiß steht ein anderer Teil mit den lebenden Wurzeln der grün belaubten Pflanzen in genossenschaftlichem Verbande. Freilich können wir bis heute noch nicht mit Bestimmtheit angeben, welche Arten von Pilzen es sind, deren Myzelien mit den genannten Samenpflanzen in Verbindung treten, und ob überhaupt eine bestimmte Wahlverwandtschaft zwischen bestimmten Pilzen und bestimmten grün belaubten Pflanzen besteht. In einigen Fällen hat die Annahme einer solchen Wahlverwandtschaft viel für sich, andererseits aber ist es wieder sehr unwahrscheinlich, daß auf einer beschränkten Stelle im Grunde eines Tannenwaldes, wo die Erde auf dem Raume von wenigen Quadratmetern von Wurzeln der Tannen, des Seidelbaumes, des Ginsters, der Pirolazeen, der Heidel- und Preiselbeeren so durchwuchert ist, daß man Mühe hat, sie zu sondern und zu entwirren, jede dieser Samenpflanzen einen anderen Gesellschafter aus dem großen Heere der Pilze des Waldgrundes haben sollte. Es scheint in solchen Fällen gerechtfertigt, anzunehmen, daß das Myzelium ein und derselben

Pilzart zugleich mit allen diesen unter- und nebeneinander wachsenden Pflanzen in Verbindung tritt, so wie es auch sehr wahrscheinlich ist, daß je nach dem Standort die Myzelien verschiedener Pilze mit einer und derselben grün belaubten Pflanze sich verbinden können. Für das letztere spricht namentlich der Umstand, daß einige Arten aus fernen Gegenden, welche regelmäßig einen Myzelmantel an ihren Wurzelenden zeigen, wenn sie in unseren Gärten und Gewächshäusern aus Samen gezogen werden, sich daselbst mit Pilzmyzelien verbinden, welche dort, wo die betreffenden Blütenpflanzen wildwachsend vorkommen, zuversichtlich fehlen. So findet man z. B. die Wurzeln der japanischen *Sophora Japonica* sowie auch die Wurzeln der australischen *Epakrideen* in den europäischen Gärten in genossenschaftlichem Verbande mit bei uns einheimischen Pilzen, welche in Japan und Australien gewiß nicht vorkommen, und es ist daher kaum zu bezweifeln, daß z. B. die *Sophora Japonica* in verschiedenen Gegenden auch mit verschiedenen Pilzen in Verbindung tritt.

Die als Ernährungs-genossenschaft zu deutende Verbindung der erwähnten Holzpflanzen mit Pilzmyzelien steht aber nicht allein da. Auch die Orchideen werden in jeder Hinsicht eine der merkwürdigsten Pflanzenfamilien dadurch, daß sie offenbar ebenfalls von der Regel abweichende Ernährungsverhältnisse aufweisen. Die Orchideen sind bekanntlich meistens mit grünen Blättern versehen, wie z. B. die zierliche kleine *Listera cordata*, die durch ihre zottigen Blumenblätter ausgezeichnete *Goodyera repens* und die Arten der Gattungen *Cephalanthera*, *Epipactis* und *Platanthera*; zum Teil aber entbehren sie des grünen Laubes, wie beispielsweise der Dingel, die Nestwurz, die Korallenwurz und das Ohnblatt. Von diesen gehört der Dingel (*Limodorum abortivum*) mehr den wärmeren Landstrichen Mitteleuropas an; er besitzt kreuz- und quer-, zu einem wirren Knäuel verschlungene fleischige Wurzelfasern und über $\frac{1}{2}$ m hohe, schlanke, stahlblau überlaufene Stengel, welche lockere Ähren ziemlich großer, dunkelvioletter, später verblassender Blüten tragen. Die Nestwurz (*Neottia Nidus avis*) findet sich in Laub- und Nadelwäldern weitverbreitet, ihre Stengel und Blüten haben eine bei Pflanzen ganz ungewöhnliche lichtbraune, an Eichenholz erinnernde Farbe; die Blumen sind geruchlos, die vom unterirdischen Teile des Stengels ausgehenden, in Humus eingebetteten, in Form und Farbe an Regenwürmer erinnernden zahlreichen Wurzeln bilden ein wunderliches, oft faustgroßes Gewirr, das man mit einem Vogelneste verglichen und als Anlaß zur Benennung dieser Pflanze benutzt hat. Die Korallenwurz (*Corallorhiza innata*) hat im Gegensatz zu dem Vogelneste gar keine Wurzeln, dagegen zeigt der unterirdische Teil des Stengels, das sogenannte Rhizom, mit dem Wurzelgewirr des Vogelnestes eine entfernte Ähnlichkeit. Blaßbräunliche, an den stumpfen, weißlichen Enden wiederholt gabelig verzweigte Äste dieses Rhizoms, welche gerade so aussehen, als hätte man sie eine Zeitlang gepreßt und dadurch alle die kurzen, lappenförmigen Zweiglein in eine Ebene ausgebreitet, liegen dicht gedrängt nebeneinander, verchränken sich auch teilweise und bilden so einen Körper, welcher lebhaft an einen Korallenstock erinnert. Dieses korallenstockartige unterirdische Stengelgebilde entwickelt alljährlich über die Erde emporsteigende blaßgrünliche Stengel, welche mit kleinen, gelb-, weiß- und violett-scheckigen, nach Vanille duftenden Blüten und später mit verhältnismäßig großen, grünen, zur Zeit der Reife braun werdenden Früchten besetzt sind.

Die vierte dieser bleichen Waldorchideen, zugleich die seltenste und wunderbarste von ihnen, ist das Ohnblatt (*Epipogum aphyllum*; vgl. die beigeheftete Tafel „Ohnblatt im Moder des Fichtenwaldes“). So wie der Korallenwurz, fehlen auch ihm die Wurzeln. Sein Rhizom ist jenem der Korallenwurz zum Verwechseln ähnlich, unterscheidet sich aber dadurch,



Ohablaff im Moder des Fichtenwaldes.
Nach Aquarell von J. Seelos.

Pilzart zugleich mit allen diesen unter- und nebeneinander wachsenden Pflanzen in Verbindung tritt, so wie es auch sehr wahrscheinlich ist, daß je nach dem Standort die Myzelien verschiedener Pilze mit einer und derselben grün belaubten Pflanze sich verbinden können. Für das letztere spricht namentlich der Umstand, daß einige Arten aus fernen Gegenden, welche regelmäßig einen Myzelmantel an ihren Wurzeln zeigen, wenn sie in unseren Gärten und Gewächshäusern aus Samen gezogen werden, sich daselbst mit Pilzmyzelien verbinden, welche dort, wo die betreffenden Blütenpflanzen wildwachsend vorkommen, zuversichtlich fehlen. So findet man z. B. die Wurzeln der japanischen *Sophora Japonica* sowie auch die Wurzeln der australischen *Epakrideen* in den europäischen Gärten in genossenschaftlichem Verbands mit bei uns einheimischen Pilzen, welche in Japan und Australien gewiß nicht vorkommen, und es ist daher kaum zu bezweifeln, daß z. B. die *Sophora Japonica* in verschiedenen Gegenden auch mit verschiedenen Pilzen in Verbindung tritt.

Die als Ernährungsbeziehung zu deutende Verbindung der erwähnten Holzpflanzen mit Pilzmyzelien steht aber nicht allein da. Auch die Orchideen werden in jeder Hinsicht eine der merkwürdigsten Pflanzenfamilien dadurch, daß sie offenbar ebenfalls von der Regel abweichende Ernährungsverhältnisse aufweisen. Die Orchideen sind bekanntlich meistens mit grünen Blättern versehen, wie z. B. die zierliche kleine *Listera cordata*, die durch ihre zottigen Blumenblätter ausgezeichnete *Goodyera repens* und die Arten der Gattungen *Cephalanthera*, *Epipactis* und *Platanthera*; zum Teil aber entbehren sie des grünen Laubes, wie beispielsweise der Dingel, die Nestwurz, die Korallenwurz und das Ohnblatt. Von diesen gehört der Dingel (*Limodorum abortivum*) mehr den wärmeren Landstrichen Mitteleuropas an; er besitzt kreuz- und quer-, zu einem wirren Knäuel verschlungene fleischige Wurzelfasern und über $\frac{1}{2}$ m hohe, schlanke, stahlblau überlaufene Stengel, welche lockere Ähren ziemlich großer, dunkelvioletter, später verblassender Blüten tragen. Die Nestwurz (*Neottia Nidus avis*) findet sich in Laub- und Nadelwäldern weitverbreitet, ihre Stengel und Blüten haben eine bei Pflanzen ganz ungewöhnliche lichtbraune, an Eichenholz erinnernde Farbe; die Blumen sind geruchlos, die vom unterirdischen Teile des Stengels ausgehenden, in Humus eingebetteten, in Form und Farbe an Regenwürmer erinnernden zahlreichen Wurzeln bilden ein wunderliches, oft faustgroßes Gewirr, das man mit einem Vogelneste verglichen und als Anlaß zur Benennung dieser Pflanze benutzt hat. Die Korallenwurz (*Corallorhiza innata*) hat im Gegensatz zu dem Vogelneste gar keine Wurzeln, dagegen zeigt der unterirdische Teil des Stengels, das sogenannte Rhizom, mit dem Wurzelgewirr des Vogelnestes eine entfernte Ähnlichkeit. Bläßbräunliche, an den stumpfen, weißlichen Enden wiederholt gabelig verzweigte Äste dieses Rhizoms, welche gerade so aussehen, als hätte man sie eine Zeitlang gepreßt und dadurch alle die kurzen, lappenförmigen Zweiglein in eine Ebene ausgebreitet, liegen dicht gedrängt nebeneinander, verschränken sich auch teilweise und bilden so einen Körper, welcher lebhaft an einen Korallenstock erinnert. Dieses korallenstockartige unterirdische Stengelgebilde entwickelt alljährlich über die Erde emporsteigende bläßgrünliche Stengel, welche mit kleinen, gelb-, weiß- und violettstacheligen, nach Vanille duftenden Blüten und später mit verhältnismäßig großen, grünen, zur Zeit der Reife braun werdenden Früchten besetzt sind.

Die vierte dieser bleichen Waldorchideen, zugleich die seltenste und wunderbarste von ihnen, ist das Ohnblatt (*Epipogon aphyllum*; vgl. die beigeheftete Tafel „Ohnblatt im Moder des Fichtenwaldes“). So wie der Korallenwurz, fehlen auch ihm die Wurzeln. Sein Rhizom ist jenem der Korallenwurz zum Verwechseln ähnlich, unterscheidet sich aber dadurch,



Ohnblatt im Moder des Fichtenwaldes.
Nach Aquarell von J. Seelos.

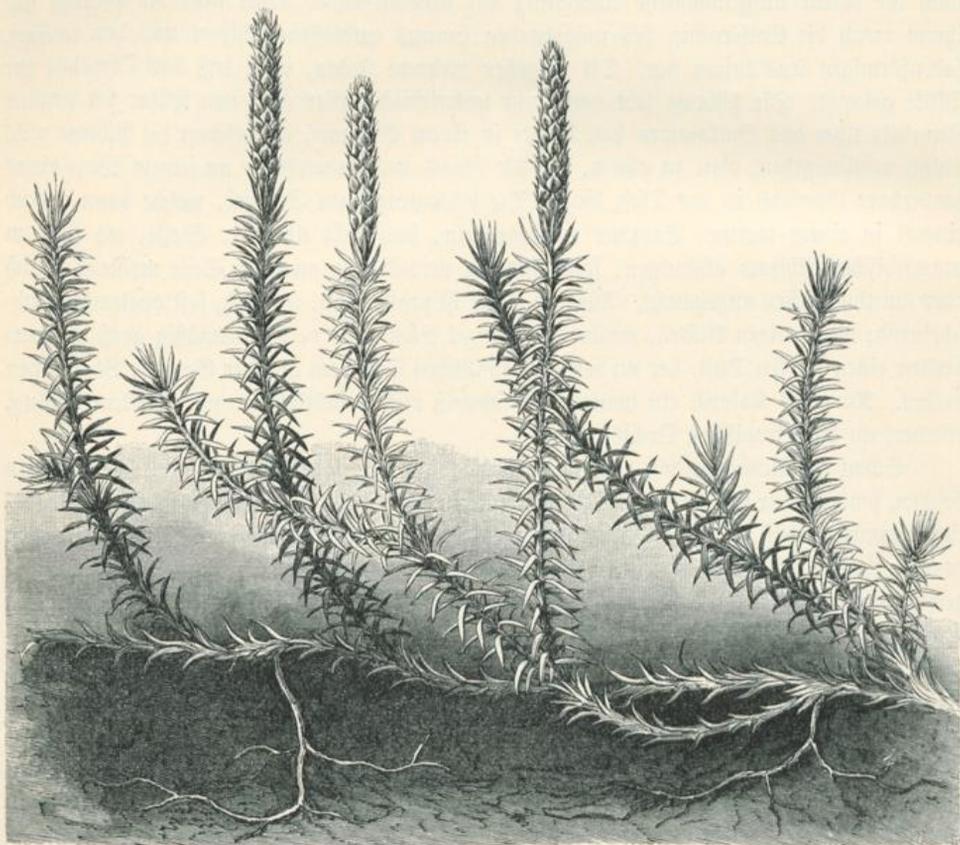
daß es verlängerte fadenförmige Sprosse aussendet, welche am Ende knollenartig anschwellen und als unterirdische Ausläufer aufgefaßt werden können. Das angeschwollene Ende wird zum Ausgangspunkte für einen neuen Korallenstock, der sich etwa eine Spanne weit von dem alten, nach der Entwicklung der Blüten gewöhnlich erschöpften und allmählich zugrunde gehenden ausbildet. Dieser korallenartige Stengel lebt natürlich unterirdisch und wird erst sichtbar, wenn man die Moose vom Moder des Waldgrundes abhebt; häufig ist er ganz in sandigen Lehm eingebettet, der unmittelbar unter dem schwarzen Moder liegt. Die nach der Natur aufgenommene Abbildung auf nebenstehender Tafel stellt die Pflanze mit ihrem durch die Entfernung des umgebenden Humus entblößten Rhizom und den weißen, fadenförmigen Ausläufern dar. Oft vergehen mehrere Jahre, ohne daß das Ohnblatt zur Blüte gelangt. Die Pflanze lebt dann nur unterirdisch. Wer nicht von früher her genaue Kenntnis über das Vorkommen hat, könnte in einem Sommer, in welchem die Pflanze nicht blüht, vorübergehen, ohne zu ahnen, daß die Moos- und Humusdecke an seinem Wege dieses sonderbare Gewächs in der Tiefe birgt. Die blütentragenden Stengel, welche dann endlich einmal in einem warmen Sommer emportauschen, sind dicht über der Stelle, wo sie vom unterirdischen Rhizom abzweigen, spindelförmig verdickt und an einer Seite meistens rötlich oder amethystfarben angehaucht. Alles an ihnen ist prall, glatt, saftreich, fast opalartig durchscheinend; die wenigen Blüten, welche der Stengel trägt, sind verhältnismäßig groß und verbreiten einen starken Duft, der an den der brasilischen Orchideen aus der Gattung *Stanhopea* mahnt. Auch das Kolorit, ein mattes Gelblichweiß mit blaßrötlichem und violetttem Anflug, erinnert an diese tropischen Orchideen.

Schon der Umstand, daß z. B. das Ohnblatt und die Korallenwurzel gar keine Wurzeln besitzen, sondern nur mit ihren korallenstockähnlichen unterirdischen Stämmen im Boden stecken, ließ vermuten, daß sie ihrer Bodenunterlage keine Nährstoffe entnehmen. Und so ist man denn auch hier auf die schon seit 50 Jahren bekannten Knäuel von Pilzmyzelien aufmerksam geworden, welche in den Rindenzellen der unterirdischen Organe zahlreicher Orchideen leben. Daß dieselben eine biologische Bedeutung besitzen, ist besonders durch das Studium der Keimung der Orchideen immer wahrscheinlicher geworden. Die Orchideen bilden sehr viele Samen, die aber sehr unvollkommen sind. Der Keim besteht nur aus wenigen Zellen und besitzt weder Keimblatt noch Wurzel oder Nährgewebe. Man hatte nun oft vergeblich versucht, die in den Orchideenhäusern kultivierten wundervollen tropischen Formen aus ihren Samen zu ziehen, die Samen keimten nur schwer, meist sogar überhaupt nicht bei künstlicher Zucht. Erst 1903 kam der französische Botaniker Bernard auf den Gedanken, daß die Wurzelpilze der Orchideen bei ihrer Entwicklung eine Rolle spielten, und bewies, daß man Orchideensamen zur Keimung bringen könne, wenn man den von ihm besonders gezüchteten Orchideenpilz zu den Samen bringt. Diese Untersuchungen sind von anderen Forschern fortgesetzt worden, und es bestätigte sich, daß nur mit Pilzen infizierte Samen sich entwickeln und die Entwicklung der tropischen wie unserer einheimischen Waldorchideen an die Anwesenheit der Pilze gebunden ist. Praktisch ist dieses Resultat sehr wichtig, eine tiefere theoretische Einsicht fehlt uns aber noch.

Das Studium der Humuspflanzen, wie man die Orchideen und andere an das Vorhandensein von Humus gebundene Pflanzen zusammenfassend nennen kann, verspricht noch manche Überraschungen, denn auch scheinbar ganz selbständige Pflanzen unserer Wälder, wie das Hexenkraut (*Circaea*), manche alpine Pflanzen wie *Bartschia alpina*, gewisse

Gentianeen, wie *Gentiana ciliata* und *Rhaetica*, erscheinen bei ihrer Nahrungsaufnahme des Saprophytismus verdächtig.

Wie lange es dauert, hier das Richtige zu erkennen, und wie mühsam die Arbeit der Forschung ist, haben die in die Moosbede der Wälder eingewebten und mit weißen Wurzeln tief in den schwarzen Humus eindringenden Bärlappe (das unten abgebildete *Lycopodium annotinum* und seine Verwandten) gelehrt. Man hatte keinen Grund, diese schön grün gefärbten Kryptogamen für Saprophyten zu halten, und doch sind sie es in einem Teil ihres



Lycopodium annotinum.

Lebens. Die Bärlappe, wie die Farne und Schachtelhalme entstehen nicht sogleich aus ihren Sporen, sondern die Spore bildet zuerst einen Vorkeim (Prothallium), welcher Geschlechtsorgane, Antheridien und Archegonien, erzeugt, und erst aus dem befruchteten Ei wächst die sporentragende Bärlapp-Pflanze heraus. Man nennt diesen merkwürdigen Entwicklungsengang Generationswechsel. (Vgl. Bd. II.) Obwohl nun in Wäldern und auf Heiden die *Lycopodium*-pflanzen häufig genug sind, gelang es weder ihre Prothallien aufzufinden, noch die Sporen zur Bildung der Vorkeime künstlich zu veranlassen.

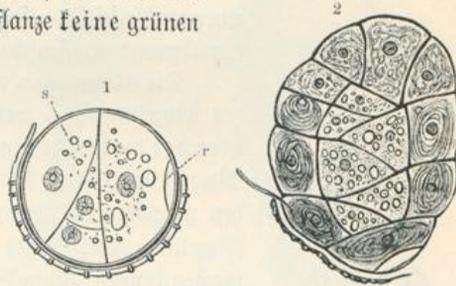
Erst der Botaniker Bruchmann hat die Ursache dieses Mißerfolges durch seine mühevollen Untersuchungen aufgedeckt. Während bei den Farnen die Spore ihr Prothallium innerhalb

einiger Wochen auf der Oberfläche der Erde entwickelt, bildet sich der Bärlapp-Vorkeim zu einem winzigen unterirdischen Knöllchen aus, braucht aber bis zur Reife 10—20 Jahre. Die Sporen liegen oft 6—7 Jahre in der Erde, bis sie keimen. Bei der Keimung teilt sich die aufplatzende Spore in fünf Zellen (s. die untenstehende Abbildung, Fig. 1). Aber nun geht die Entwicklung nur weiter, wenn das Prothallium von einem Fadenpilz befallen wird. Der Pilz bildet, nachdem er in eine Zelle eingedrungen ist, in den äußeren Zellen des Prothalliums Fadentnäuel (Fig. 2). Sehr langsam wächst das Prothallium dann zu einem knolligen archegonientragenden Gebilde heran, das nach der Befruchtung seiner Archegonien beblätterte *Lycopodium*-Pflanzen erzeugt. (Vgl. die Abbildung auf S. 414.)

Erst jetzt, nachdem die Ernährungsgenossenschaft der chlorophylllosen Pilze und grün belaubten Samenpflanzen besprochen wurde, kann auch jener merkwürdige Fall der Nahrungsaufnahme behandelt werden, in welchem die unterirdischen Wurzeln einer Samenpflanze vollständig von einem Myzelmantel eingehüllt werden, wo aber die oberirdisch hervorprühenden Teile dieser Samenpflanze keine grünen

Blätter tragen und überhaupt keine Spur von Chlorophyll enthalten. So verhält es sich nämlich mit dem Fichtenspargel (*Monotropa*), dessen Arten, im Bau der Blüten und Früchte mit den Pirolazeen zunächst verwandt, in schattigen Wäldern allenthalben verbreitet sind. Seine 10—20 cm hohen Stengel, welche sich im Sommer aus dem Humus des Waldgrundes erheben, sind dick, fleischig, saftreich, mit häutigen, durchscheinenden Schuppen reichlich besetzt. Halb verdeckt von den Schuppen, entwickeln sich an dem hakenförmig zurückgebogenen Ende des Stengels die zylind-

derförmigen Blüten, welche mit ihrer Mündung gegen den Boden gerichtet sind. Alles an diesen Pflanzen, Stengel, Blattschuppen und Blüten, ist von blasser, wachsgelber Farbe, und der allgemeine Eindruck, den sie hervorbringen, erinnert weit mehr an die Schuppenwurz oder das Dhnblatt als an eine Pirola. Gegen den Herbst zu, wenn aus den Blüten reife Früchte hervorgegangen sind, streckt sich das bisher herabgebogene Stengelende in die Höhe, der ganze oberirdische Teil der Pflanze bräunt sich, vertrocknet, und aus den kugeligen Früchten schüttelt der Wind bei jedem noch so leisen Anprall viele Tausende winziger, staubfeiner Samen heraus, welche gleich den Wintergrünensamen nur aus wenigen Zellen bestehen und keine Spur eines Embryos erkennen lassen. Unterirdisch aber leben die Stöcke, von denen sich im Sommer die bleichen Stengel in kleinen Gruppen und Horsten emporgehoben hatten, über Winter fort, und es bilden sich an ihnen auch viele neue Knospen aus. Gräbt man der überwinternden Pflanze nach und hebt man die sie bedeckende Dammerde ab, so findet man in der Tiefe von 10—40 cm korallenstockartige Massen vielfach verzweigter Wurzeln. Alle Wurzeln sind kurz, dick, fleischig und brüchig, kreuzen und verwickeln sich, sind mit den Wurzelästen von Fichten, Tannen und Buchen verwebt und in allen Zwischenräumen mit Dammerde erfüllt. Jedes Wurzelästchen ist bis zur fortwachsenden Wurzelspitze mit einem dicken Myzelmantel umgeben. Die Hyphenfäden dieses Myzeliums dringen nicht in das Gewebe der *Monotropa*-Wurzel



Keimung der *Lycopodium*-spore: 1 Keimende *Lycopodium*-spore. Ohne Gemischung eines Pilzes liefert die Spore einen fünfzelligen Körper. Die Zelle r ist das Rudiment des ersten Wurzelhaares. Von der Zelle s geht das Wachstum des Prothalliums aus. 2 Weiter entwickeltes Prothallium mit Fadentnäueln der Pilze in den inneren Zellen. Nach Bruchmann, „Prothallien und Keimpflanzen europäischer *Lycopodien*“. Gotha 1898.

ein und senken auch keine Haustorien in die oberflächlichen Zellen dieser Wurzeln. Die Hyphenfäden und die Oberhautzellen der Wurzel schließen aber so dicht und so ununterbrochen aneinander, daß der Durchschnitt eine vollständig geschlossene Gewebemasse zeigt.

Monotropa kann demnach ihre unterirdische Nahrung nur aus dem Hyphengeflechte des Myzelmantels entnehmen. Da sie ganz chlorophylllos ist, und da ihre oberirdischen Stengel und Blätter keine Spur von Spaltöffnungen zeigen, so ist geradezu ausgeschlossen, daß sie organische Stoffe erzeugt, und daß sie überhaupt mit Hilfe ihrer oberirdischen Teile an Substanz gewinnt. Alle Stoffe, aus denen sie sich aufbaut, erhält sie aus dem Myzelium des Pilzes, während sie umgekehrt an dieses Myzelium nichts abzugeben vermag, was sie nicht früher von diesem erhalten hätte. Wenn das Myzelium nachträglich aus der lebenden oder verwesenden Monotropa irgendwelche Stoffe bezieht, so sind diese nur zurückgenommen und nicht im Tausch erhalten. Daher kann hier von einer wechselseitigen Ergänzung, von einer Teilung der Arbeit, von einer Ernährungs-genossenschaft keine Rede sein.



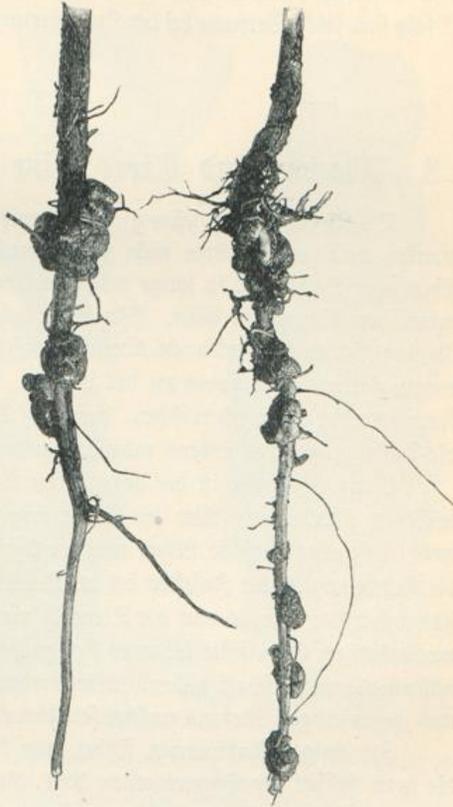
1 Älteres Prothallium von *Lycopodium clavatum* L. 2 Prothallium mit einem Keimpflänzchen; die horizontale Linie entspricht der Bodenoberfläche; sie läßt erkennen, wie tief das Prothallium im Boden steht. Nach Bruchmann, „Prothallien und Keimpflanzen europäischer Lycopodien“. Göttingen 1893. (Zu S. 413.)

Die Monotropa wächst und nimmt an Umfang zu nur auf Kosten des Myzeliums, in welches sie eingebettet ist, und es liegt demnach hier der merkwürdige Fall vor, daß eine Samenpflanze in dem Myzelium eines Pilzes schmarrt. Die Erfahrung zeigt so häufig den umgekehrten Vorgang, daß wir uns mit der Vorstellung einer das Myzelium eines Pilzes ausfaugenden Samenpflanze nicht recht vertraut machen können; dennoch ist hier kaum eine andere Deutung möglich, denn alle die anderen Angaben, wonach sich Monotropa mit Baumwurzeln in Verbindung setzen soll, oder daß sie in den ersten Entwicklungsstufen ein Schmarotzer sei, sich aber später von ihrer Wirtspflanze ablöse und zu einer Verwesungspflanze werde, beruhen auf ungenauen Beobachtungen und sind längst widerlegt worden. Als Schmarotzerpflanze hätte Monotropa schon bei früherer Gelegenheit behandelt werden sollen; absichtlich wurde aber die Besprechung derselben dieser Stelle vorbehalten, weil ihre Ernährungsweise ohne Kenntnis der merkwürdigen Verbindung von Pilzmyzelien mit den Wurzeln grün belaubter Samenpflanzen nur schwierig hätte dargestellt und erklärt werden können.

Schließlich sei hier noch erwähnt, daß in neuerer Zeit mehrere tropische chlorophyllose Samenpflanzen aus der Familie der Gentianeen bekannt wurden, welche in betreff der Nahrungsaufnahme mit Monotropa große Übereinstimmung zeigen. Namentlich verdient hier der seltsamen auf Java einheimischen *Cotylanthra tennis* gedacht zu werden, eines kleinen, 5—8 cm hohen Pflänzchens von wachsgelber Farbe, mit chlorophyllosen, schuppenförmigen, über Kreuz gestellten Blättchen und viergliederigen Blüten. Die stellenweise aufgetriebenen Wurzeln sind mit einem Myzelmantel versehen, und das zarte Pflänzchen kann die Nahrung allem Anschein nach nur aus diesem Myzelmantel gewinnen. Die Arten der Gattung *Monotropa* sind daher keinesfalls die einzigen chlorophyllosen, bei ihrer Nahrungsaufnahme auf ein Pilzmyzelium angewiesenen Samenpflanzen und scheinen nur das Vorbild für eine in Beziehung auf die Nahrungsaufnahme überaus merkwürdige Pflanzengruppe zu sein.

Von großer praktischer Bedeutung für die Landwirtschaft ist die Entdeckung geworden, daß die Schmetterlingsblütler, zu denen unsere Hülsenfrüchte oder Leguminosen gehören, eine Verbindung mit Bakterien des Bodens eingehen und dadurch auf stickstoffarmem Boden, wo alle anderen Pflanzen verhungern würden, freudig gedeihen können. Nachdem durch die genauen Untersuchungen Boussingaults festgestellt worden war, daß keine grüne Pflanze den Stickstoff der Luft unmittelbar zur Ernährung benutzen kann (vgl. S. 55), wurden seit dem Jahre 1860 die Stimmen der Landwirte immer lauter, die behaupteten, es gäbe Kulturpflanzen, welche aus der Luft Stickstoff aufzunehmen vermöchten und daher auf dem schlechtesten Boden noch gezogen werden könnten. Alle diese Pflanzen gehören aber den kleeähnlichen Gewächsen, den Leguminosen, an. Wissenschaftlich genaue Untersuchungen haben die Richtigkeit der ebenerwähnten Anschauung der Landwirte festgestellt und auch den Grund gefunden, weshalb die Leguminosen sich anders verhalten wie alle anderen Pflanzen.

Gewisse Bakterien, namentlich *Bacterium radicum*, siedeln sich an den Wurzeln der genannten Gewächse an und erzeugen dort knöllchenförmige Anschwellungen, in denen sie dann kolonienweise leben (s. nebenstehende Abbildung). Die grün belaubte Pflanze bietet demnach den Bakterien eine Heimstätte, liefert ihnen aber auch gewisse, in den grünen Blättern durch Assimilation erzeugte und zu den Wurzeln hingeleitete Stoffe, ohne welche die Vermehrung der Bakterien nicht stattfinden könnte. Die Gegenleistung der Bakterien besteht in der Bildung stickstoffhaltiger Verbindungen aus dem Stickstoff der Bodenluft im Bereiche der Wurzeln. Von da gelangen diese Verbindungen in die oberirdischen Teile der betreffenden Pflanze und werden dort in vorteilhafter Weise verwendet.



Lupinenwurzeln mit durch Bakterien erzeugten Knöllchen.

Durch Versuche wurde ermittelt, daß die Wachstumsverhältnisse der Pflanzen, an deren Wurzeln sich Knöllchen mit Bakterien ausgebildet hatten, im Vergleich zu anderen Pflanzen, deren Wurzeln der Knöllchen entbehrten, wesentlich günstiger waren, und daß namentlich die Stickstoffmenge in den ersteren eine entschiedene Zunahme erfuhr. Zur Zeit der Samenreife findet man die Wurzelknöllchen von den Bakterien leer. Nachdem sie sich zunächst in dem Knöllchengewebe gewissermaßen gemästet haben und reich an eiweißähnlichen Stoffen geworden sind, werden die ganzen Bakterien von dem Wurzelgewebe der Leguminoase verdaut und die Stickstoffverbindungen für diese selbst gewonnen.

Es hat sich aus diesen Verhältnissen die wichtige Praxis der Bodenverbesserung durch Lupinenkultur oder den Anbau anderer Leguminosen herausgebildet. Man erntet diese Pflanzen

nicht, sondern bringt sie durch den Pflug in grünem Zustande unter den Boden, und durch diese Gründüngung werden schlechte, stickstoffarme Böden allmählich für den Getreidebau verwendbar. Der durch Verwesung der Lupinen dem Boden einverleibte Stickstoff hat dieselbe Wirkung, als ob man mit Salpeter düngte, ist aber bei weitem billiger. Vorbedingung des Gelingens ist natürlich das Vorhandensein der Salpeterbakterien im Boden; wo diese fehlen, können an den Lupinenwurzeln keine Bakterienknollen entstehen. In der Regel enthält auch schlechter Boden Nitrobakterien. Ist das nicht der Fall, so impft man den Boden mit Nitrobakterien durch Aufstreuen von bakterienhaltiger Erde oder durch andere Methoden. Mit Erfolg sind solche Versuche bei der Kultivierung der Moore Norddeutschlands ausgeführt worden.

3. Pflanzen und Tiere, eine große Ernährungs-genossenschaft.

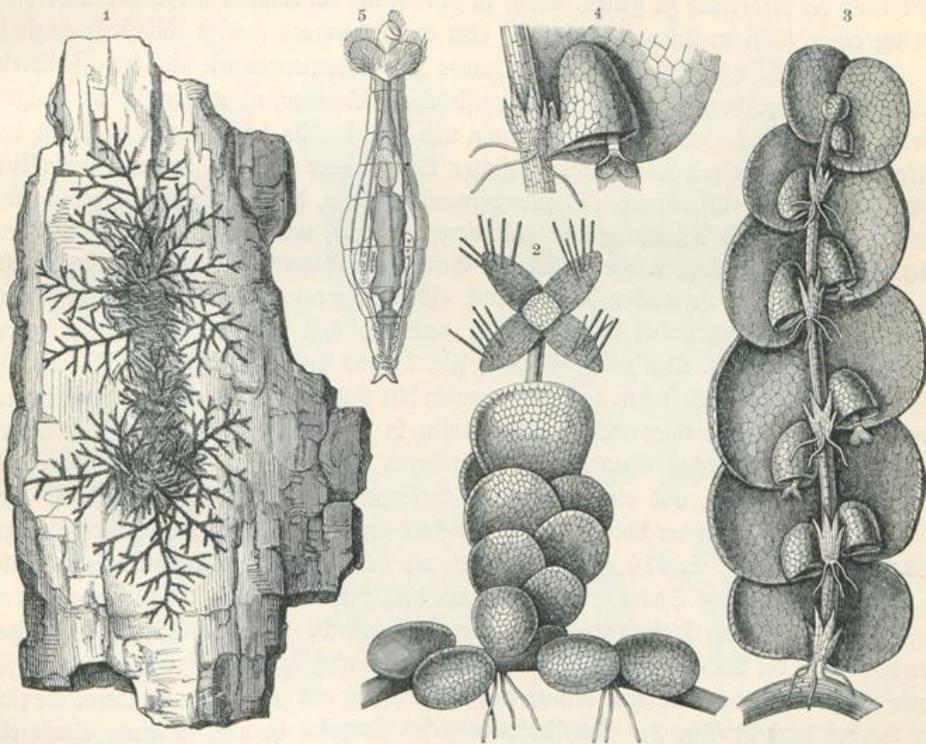
Die Tatsache, daß pflanzliche Organismen von ganz verschiedener Art sich zu Lebenszwecken verbinden, würde nicht so überrascht haben, wenn man sich nicht an der Hand Linné'scher Systematik so lange dem Glauben an die unüberbrückbare Trennung der Organismenreihen hingegeben hätte. Wir sehen heute die Natur ganz anders an als diese scholastische Naturgeschichte und erkennen überall ein Zueinandergreifen der Organismen zum Zwecke der mannigfaltigsten Förderungen des Lebens. Nach dem im vorangehenden Kapitel Mitgetheilten kann es nicht mehr überraschen, daß auch Tiere und Pflanzen Genossenschaften bilden, um die Bedingungen des Lebens möglichst auszunutzen.

Ganz allgemein ist die gegenseitige Abhängigkeit der Pflanzen und Tiere voneinander leicht zu überblicken. Wer die Bedeutung und Tätigkeit des Chlorophylls verstanden hat, weiß, daß alles tierische Leben von der Existenz der Pflanzen abhängt, und wenn wir später die Notwendigkeit der Insekten bei der Befruchtung der Blüten studieren werden, wird die Abhängigkeit der Pflanze von der Tierwelt nochmals klar hervortreten. Jedoch auch eine Anzahl merkwürdiger Einzelfälle lohnt es sich zu besprechen, wo gewisse Pflanzen und Tiere eine Ernährungs-genossenschaft bilden. Wir werden dabei, wie oben, verschiedene Stufen einseitigen und gegenseitigen Nutzens nachweisen können.

In einigen Radiolarien findet man kleine, grüne oder gelbliche kugelförmige Körper, die man früher für Pigmentzellen hielt, die sich aber als kleine Algen herausstellten, deren Zellen mit echtem Chlorophyll ausgestattet sind. Ähnlich verhält es sich bei dem Süßwasserpolyphen Hydra und den meerbewohnenden Seeanemonen, bei *Stentor polymorphus*, *Spongilla fluviatilis*, *Convoluta Roscoffiensis* und mehreren anderen Wassertieren. Auch mit diesen finden sich Algenzellen in genossenschaftlichem Verbands, Zellen mit einer aus Zellstoff gebildeten Haut und mit Chlorophyll und Stärkekörnern im Zellenleibe. Diese Algen bringen den Tieren, mit denen sie sich verbunden haben, keinerlei Nachteil, wohl aber einen Vorteil, und dieser besteht darin, daß die grünen Zellen unter dem Einflusse der Sonnenstrahlen die Kohlensäure spalten und dabei Sauerstoff ausscheiden, der unmittelbar von den Tieren aufgenommen werden und bei der Atmung und den damit zusammenhängenden Lebensprozessen Verwendung finden kann. Auch sind die Tiere vielleicht Nutznießer der durch die Algenzellen erarbeiteten Nährstoffe. Umgekehrt wird die mit dem Tierleibe verbundene Alge aus diesem insofern wieder einen Vorteil ziehen, als sie aus ihm die bei der Respiration

abgegebene Kohlen säure aus erster Hand erhält. Die kleinen mit dem Tiere verbundenen Algen sind also auf keinen Fall als Schmarotzer aufzufassen, auch die Tiere können wohl nicht als Parasiten der Algen angesehen werden, und es liegt demnach hier eine ganz ähnliche wechselseitige Unterstützung, ein ganz ähnliches, zum Vorteile beider Parteien dienendes Bündnis vor, wie es bei den Flechten und den anderen früher besprochenen Pflanzen beobachtet wird.

Ein merkwürdiges Zusammenleben besteht auch zwischen mehreren Lebermoosen aus der Gattung *Frullania* und den Nädertierchen aus der Gattung *Callidina*. Die unten ab-



1 *Frullania dilatata*, eine Jungermanniaee, auf der Rinde eines Ahornbaumes, natürl. Größe; 2 ein Stück dieser Pflanze mit einem klappig aufgesprungenen Sporangium; auf der Fläche der Klappen des Sporangiums die Schleudern (Elatere), 20fach vergrößert; 3 ein Stück der *Frullania* von der unteren, der Rinde aufliegenden Seite gesehen; aus drei Wasserbehältern strecken die Nädertierchen ihre Nädertierchen vor, 25fach vergrößert; 4 ein einzelner Wasserbehälter mit einem darin stehenden Nädertierchen, 30fach vergrößert; 5 ein aus dem Wasserbehälter genommenes Nädertierchen (*Callidina symbiotica*), 100fach vergrößert.

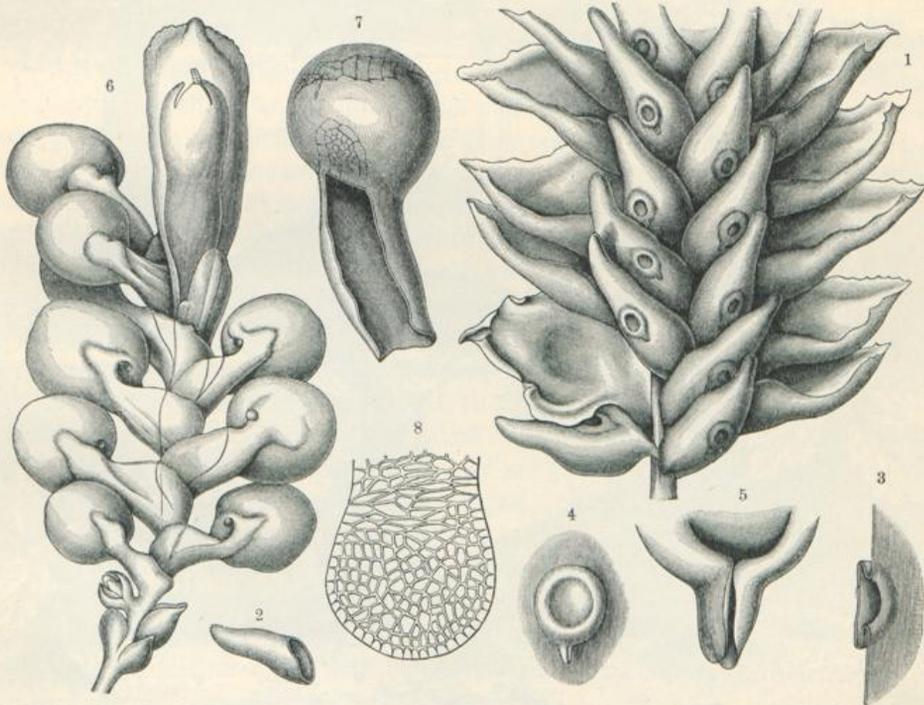
gebildete Lebermoosart *Frullania dilatata* wächst auf der Rinde alter Bäume. Sie ist dieser mit den an zierliche Dendriten erinnernden Verzweigungen dicht angeschmiegt (Fig. 1) und zeigt unter zwei Reihen flacher rundlicher, sich teilweise deckender Blättchen zwei Reihen von kappen- oder sackförmigen Gebilden und noch eine mittlere Reihe von zerschlitzten Schuppen, sogenannten Amphigastrien, und haarförmigen Haftzellen (Fig. 3). Die Aufnahme der Nährsalze kann *Frullania* nur durch Vermittelung des Regenwassers bewirken. Wenn das Regenwasser über die Rinde der Bäume herabrieselt, so schwemmt es immer verschiedene mineralische Staubteilchen und eine nicht unbedeutende Menge von Sporen, Pollenzellen, Nostocazeen, Infusorien u. s. f. mit fort. Dieses Schwemmwasser dringt auch in die Räume zwischen der Rinde und der ihr aufliegenden *Frullania* und wird dort längere Zeit zurückgehalten. Die

lebenden, im Schwemmwasser enthaltenen Organismen können freilich von der *Frullania* nicht als Nahrung benutzt werden. Was aber nicht unmittelbar möglich ist, geschieht mittelbar. Die Kappen oder Säcke bilden nämlich die Behausung kleiner Rädertiere (*Callidina symbiotica* und *Leitgebii*; Fig. 3, 4 und 5), welche sich von den mit dem Wasser zugeführten Organismen ernähren. Dafür, daß den Rädertieren in den kappenförmigen Aushöhlungen eine ruhige Heimstätte und die nötige Nahrung in der nächsten Umgebung geboten wird, versorgen sie wieder das Lebermoos mit stickstoffhaltiger Nahrung. Als solche haben nämlich die Exkremente der Rädertiere zu gelten, welche in den Grund der Kappen ausgeschieden werden, und die einen flüssigen Dünger darstellen, dem das Lebermoos gewisse Nährstoffe entzieht.

Eine ähnliche Genossenschaft von Lebermoos und Rädertierchen wie die hier geschilderte wird auch an tropischen, auf Baumborke angesiedelten Lebermoosen, namentlich an einigen Arten der Gattung *Lejeunia*, *Jungermannia* und *Plagiochila* beobachtet, und es ist bemerkenswert, daß die mit Rädertierchen besetzten Kappen oder Säcke dieser Arten auffallend größer sind, als die entsprechenden Gebilde verwandter Arten, die nur zur Aufspeicherung des Wassers und nicht als Behausung von Rädertierchen dienen, und daß bei einigen brasilischen Arten die Form der Kappen oder Säcke der Gestalt der Rädertierchen genau angepaßt ist.

Manche Lebermoose machen den Eindruck, als ob sie geradezu auf den Fang von kleinen Tieren ausgingen; namentlich ist dies bei der dem tropischen Gebiete Asiens angehörenden *Pleurozia gigantea* (s. Abbildung, S. 419, Fig. 1) und an *Colurolejeunia Naumannii* (Fig. 6) der Fall. Die Blättchen der erstgenannten Art sind wie bei allen unter dem Namen *Jungermannia* zusammengefaßten Lebermoosen in der Anlage zweilappig. Man unterscheidet an jedem Blättchen einen kleinen Unterlappen, welcher der Baumborke anliegt und *Lobulus* genannt wird, und einen größeren Oberlappen, der den *Lobulus* überdeckt. Bei *Pleurozia gigantea* hat der *Lobulus* die Form eines gegen das freie Ende sich verengernden Sackes (s. Abbildung, S. 419, Fig. 2). Dort, wo der *Lobulus* von dem Oberlappen abbiegt, ist die Wand des Sackes eingestülpt, und dort findet sich auch ein Eingang in den Hohlraum des Sackes. Dieser Eingang ist aber sehr versteckt. Das kreisrunde Loch, welches man dort schon bei flüchtiger Betrachtung bemerkt, ist nämlich nicht die eigentliche Eingangspforte, sondern führt nur in eine beckenförmige Vertiefung mit gewulsteten Rändern, die eine Art Vorhof darstellt (Fig. 3). Am Umfange dieses Vorhofes ist aber an einer Stelle ein Spalt (Fig. 4), und durch diesen Spalt führt der Weg in den Hohlraum des Sackes. Der Spalt ist von zwei in den Hohlraum hineinragenden zusammenschließenden Klappen eingefaßt, von denen die eine größere aus derben Zellen besteht, unbeweglich ist und eine Hohlkehle darstellt, während die zweite ein zartes, flaches Häutchen bildet, das in einem Scharnier beweglich ist und wie ein Deckel auf der unbeweglichen hohlkehlenförmigen Klappe aufliegt (Fig. 5). Wenn ein Tier durch den Spalt in den sackartigen Hohlraum eindringen will und einen Druck auf die deckelartige Klappe ausübt, so wird diese emporgehoben, und die Eingangspforte ist geöffnet. Sobald das Tier aber im Inneren des sackartigen Hohlraumes angekommen ist, legt sich die deckelartige Klappe sofort wieder auf die ruhende Klappe an. Das Tier ist im Sack gefangen, da es den Deckel von innen nicht öffnen kann. Die zweite der obengenannten Arten, *Colurolejeunia Naumannii*, hat Blättchen, welche in der unteren Hälfte rinnenförmig sind, gegen das freie Ende zu aber in einen linsenförmigen Sack übergehen (Fig. 6). An der Grenze von Rinne und Sack ist eine seltsame Vorrichtung ausgebildet. Bismlich derbe, wulstige Zellen bilden dort die hufeisenförmige Umrahmung einer in das

Innere des linsenförmigen Sackes führenden Pforte (Fig. 7). Diesem Rahmen liegt an der Innenseite eine leicht bewegliche Klappe auf. Wenn man den Rahmen mit einem Torbogen vergleicht, so könnte diese Klappe mit einer Falltür verglichen werden. Sie ist etwas größer als die Öffnung des Torbogens, öffnet sich leicht bei einem Anstoß von außen, gestattet auch kleinen Tieren den Eingang in den Sack, legt sich aber sofort, nachdem die Tiere eingedrungen sind, wieder an den Rahmen an, ist von innen nicht mehr zu öffnen und verwehrt den eingedrungenen Tieren den Rückweg. Die Beweglichkeit und das feste Anschließen der Klappe

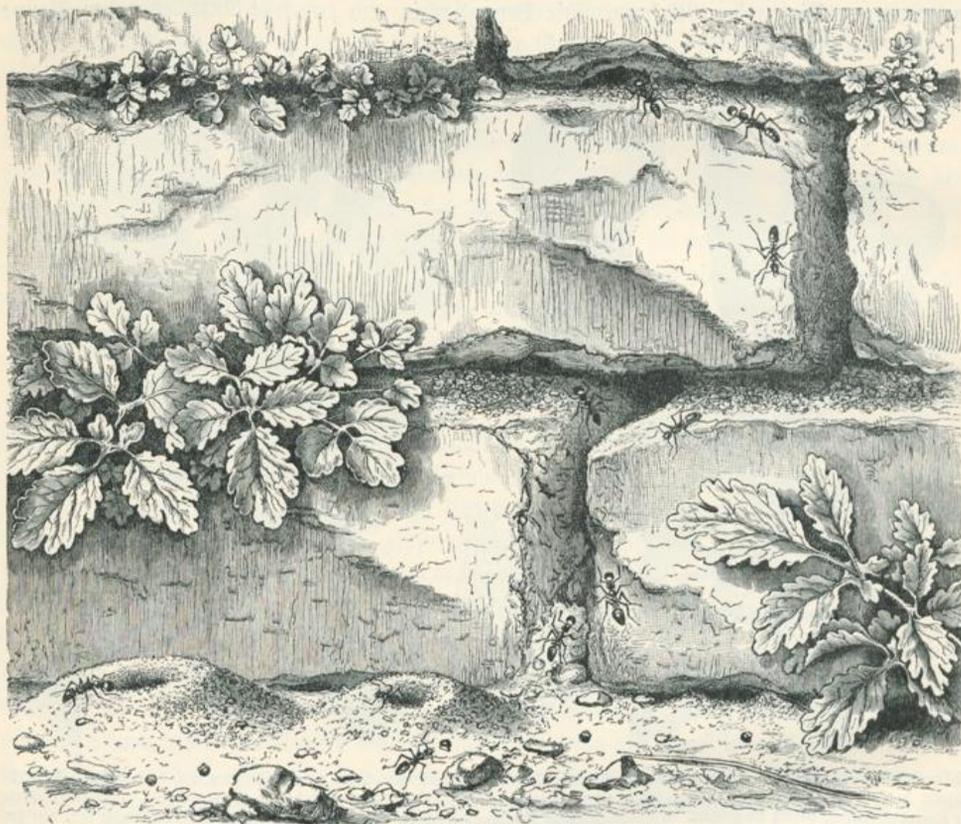


Tierfangende Lebermoose: 1 *Pleurozia gigantea*, 10fach vergrößert; 2 Lobulus eines Blättchens, 10fach vergrößert; 3 Durchschnitt durch den Vorhof der Höhlung, 20fach vergrößert; 4 Vorhof und Klappenverschluß von innen gesehen, 20fach vergrößert; 5 Klappenverschluß, 80fach vergrößert; 6 *Colurolejeunea Naumannii*, 20fach vergrößert; 7 einzelnes Blättchen dieser Art, von der Ventralseite gesehen; durch die Wand des linsenförmigen Sackes sieht man den Umriss eines gefangenen und verendeten Tieres, 32fach vergrößert; 8 bewegliche Verschlußklappe an der Eingangspforte in den linsenförmigen Sack, 140fach vergrößert. (Zu S. 418—419.)

wird durch ihren eigentümlichen Zellenbau bewirkt (Fig. 8). Die Zellen an der Basis der Klappe sind in die Quere gestreckt und bilden ein leicht bewegliches Scharnier, die des Mittelfeldes sind parenchymatisch, und jene des freien Randes zeigen außerordentlich verdünnte Wände, wodurch sie sich fest an den hufeisenförmigen Rahmen anschmiegen können.

Solche Genossenschaften erinnern aber wieder an andere analoge Beziehungen von Tieren und Pflanzen, auf welche, wenn sie auch später erst eingehender behandelt werden können, doch schon hier hinzuweisen ist. Eine große Zahl von Samenpflanzen scheidet in den Blüten Honig aus und bietet ihn fliegenden Insekten an, welche sich reichlich einstellen und dafür den besuchten Pflanzen den Gegendienst erweisen, daß sie den Blütenstaub oder Pollen von Blüte zu Blüte übertragen und so die Bildung von Früchten und keimfähigen Samen veranlassen. Zuweilen werden dabei auch besondere Ziele erreicht. Gewisse kleine

Schmetterlinge (Motten), welche die Blüten der *Yucca* besuchen, bringen den Blütenstaub zu den Narben und stopfen ihn in die Narbenhöhle, damit aus den Fruchtanlagen reife Früchte und Samen werden, was für diese Motten eine wahre Lebensfrage ist. Die Motten legen nämlich in den Fruchtknoten der *Yucca* ihre Eier, aus den Eiern gehen Larven hervor, und diese leben ausschließlich von den Samen dieser Pflanze. Würde die *Yucca* nicht befruchtet werden und keine Samen ausbilden, so müßten die Larven Hungers sterben.



Ameisenstraße mit *Chelidonium majus*.

Ähnlich verhält es sich noch in so manchen anderen Fällen, wo sowohl das Tier als die Pflanze einen Vorteil hat. Das Schöllkraut (*Chelidonium majus*) erzeugt Samen, welche mit einem verhältnismäßig großen fleischigen Wäzchen, der sogenannten Nabelschwiele, besetzt sind. Die Ameisen, denen das fleischige, saftreiche Gewebe der Nabelschwiele zur Nahrung dient, tragen diese Samen in ihre Baue. Bei dieser Gelegenheit werden die Samen des Schöllkrautes verbreitet; sie werden durch die Ameisen an Stellen angesiedelt, wo die Verhältnisse für sie sehr günstig sind, beispielsweise in den Ritzen senkrechter Mauern, zu denen sie ohne Beihilfe der Ameisen nicht gelangen könnten (s. obenstehende Abbildung). Zahlreiche Stauden, Sträucher und Bäume entwickeln fleischige, saftreiche Früchte, welche den Drosseln zur Nahrung dienen. Die Samen dieser Früchte, welche ihre Keimkraft während des Durchganges durch den Darmkanal der genannten Vögel nicht verlieren, werden mit den Excrementen

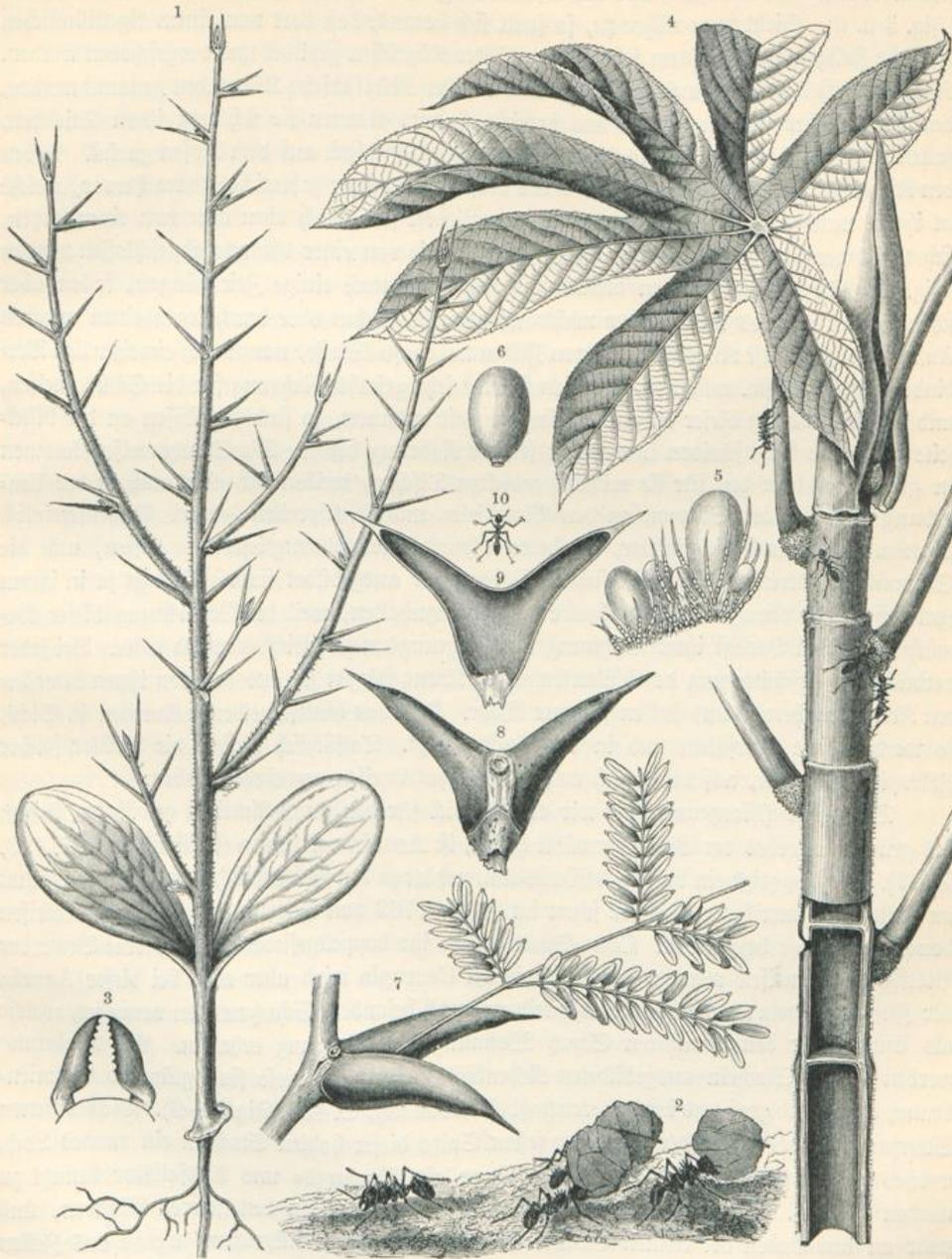
abgesetzt, und zwar an Stellen, zu denen sie weder der Wind noch das Wasser hinbringen könnten. Aus dem mit den Excrementen gedüngten Boden keimen dann kräftige junge Pflanzen hervor. Einige nordamerikanische Weißdornsträucher sind an ihren Ästen und Zweigen mit langen holzigen, nach abwärts gerichteten spitzen Dornen besetzt, welche verhindern, daß größere Tiere, zumal Katzen, in die Kronen dieser Sträucher emporklettern. Im Wiener Botanischen Garten werden diese Kronen von den Amseln ausgewählt, um sich darin ihre Nester zu bauen. Dort sind ihre Zungen und sie selbst gegen die Angriffe der Katzen vortrefflich geschützt. Dafür vertilgen die Amseln alle zu den Weißdornblüten anfliegenden schädlichen Insekten sowie die Raupen, welche das Laub in der Umgebung der Nester abfressen könnten, und helfen die fleischigen Früchte der Weißdornsträucher verbreiten.

Aus alledem geht aber hervor, daß die gegenseitigen, durch die Nahrungsgewinnung veranlaßten Beziehungen der Pflanzen sowohl untereinander als auch zu den Tieren ungleichmäßig und oft in der seltsamsten Weise verkettet und verschlungen sind, wie schon ein Beispiel lehrt. Die Saugwurzel der Schwarzpappel ist mit einem Myzelmantel von Pilzen überzogen, und der Pilz ist ein Ernährungsgenosse des Baumes. Den Schwarzpappelwurzeln heftet an den vom Myzel freigelassenen Stellen die Schuppenwurz ihre Saugwarzen auf und entnimmt diesen Wurzeln die durch Vermittelung des Myzels aus der Erde genommenen Nährstoffe. In ihre Blatthöhlungen scheidet die Schuppenwurz Wasser aus und lockt dadurch kleine Tiere an, dort einen Vorteil zu finden. An den Ästen des Pappelbaumes wird durch die Misteldrossel die Mistel angesiedelt. Die Misteldrossel nimmt die Beeren der Mistel als Nahrung und erweist dafür dieser Pflanze den Dienst, die Samen zu verbreiten und sie auf anderen Bäumen anzusiedeln. Die schwarze Mistel entnimmt dem Holze des Pappelbaumes ihre flüssige Nahrung, aber ihre Stämme sind wieder mit Flechten besetzt, und diese Flechten sind eine Ernährungsgenossenschaft von Algen und Pilzen. Im Holze der Pappelstämme verbreitet sich wieder das Myzelium von Hutpilzen (*Panus conchatus* und *Polyporus populinus*), und die Laubblätter sind besetzt mit dem orangefarbenen Pilze *Melampsora populina*. Überdies leben an den Pappelzweigen und Pappelblättern nicht weniger als drei gallenerzeugende *Pemphigus*-Arten, und es nähren sich an ihnen mehrere Käfer und Schmetterlinge. An der Borke alter Stämme siedeln sich gewisse Moose und Lebermoose, unter den letzteren auch die oben erwähnte, mit Nädertierchen besetzte *Frullania* an.

Zählt man alle Pflanzen und Tiere, welche von, auf, in und mit einem Pappelbaum leben, so stellt sich die Zahl von nahezu einem halben Hundert Arten heraus! Welch merkwürdiges Ineinanderspielen verschiedenster Lebensziele. Immer sucht einer die vom anderen geschaffenen Bedingungen zu nutzen, um sein eigenes Leben zu betätigen. In dieser Beziehung sind auch gewisse Pilze zu beachten, die man wegen der schwarzen Überzüge, die sie auf Blättern bilden, im Gegensatz zum Meltau Rußtaupilze nennt. Sie gehören der Gattung *Fumago* an und treten auf den Blättern von Weiden, Pappeln, Birken und Linden auf, aber nur dann, wenn Blattläuse diese Blätter mit ihrem Zuckerssekret besprühen, eine Erscheinung, die man Honigtau nennt. Obwohl der Rußtau nur auf Blättern vorkommt, ist er keineswegs ein Parasit und nicht an diese Blätter gebunden, sondern lebt saprophytisch von dem Zuckerüberzug, den ein Insekt zufällig dort erzeugt.

Überraschend ist das stete Zusammenleben von manchen tropischen Pflanzen mit Ameisen, welches so beständig vorkommt, daß man solche Pflanzen als Ameisenpflanzen oder myrmekophile Pflanzen bezeichnet hat.

Aus der nicht unbedeutenden Zahl der hierhergehörigen, in neuerer Zeit bekannt gewordenen Fälle sollen nur zwei geschildert und durch Abbildungen erläutert werden, nämlich *Cecropia cinerea* (s. Abbildung, S. 423, Fig. 4) und *Acacia cornigera* (s. Abbildung, S. 423, Fig. 7). Die erstere gehört einer Gattung der Maulbeergewächse an, welche in Amerika von Mexiko bis Südbrasilien verbreitet ist und ungefähr 40 Arten zählt. Dasselbe Gebiet wird auch von den sogenannten Blattschneiderameisen bewohnt, welche zu den gefährlichsten Zerstörern der Blätter zählen. Diese merkwürdigen Tiere, als deren Vorbild *Atta Hystrix* auf S. 423, Fig. 2, abgebildet ist, schneiden mit ihren scherenartigen Kinnbacken (Fig. 3) Stücke aus dem Rande der Blätter heraus, halten dieselben wie Schirme über den Kopf und schleppen sie in ihre Nester. Die Blattstücke dienen ihnen dort zur Anlage von „Pilzgärten“. In die Nester gebracht, verschimmeln nämlich die Blattstücke, und das entstandene zarte Pilzmyzelium bildet dann die Nahrung der Larven dieser Kerfe. Da für diese Ameisen die geernteten Blattstücke ganz unverdaulich sind, lassen sie die darin enthaltenen Nährstoffe erst von einem Pilz in ähnlicher Weise in verdaulichere Nahrung umwandeln, wie wir die Blattnahrung der Gräser erst in das Fleisch unserer Rinder umwandeln lassen und dieses genießen. Wenn man die Ameisen mit ihren Blattstücken unter eine Glasglocke setzt und beobachtet, so fressen sie die Blattstücke nicht, sondern verhungern. Da gewöhnlich Tausende der Blattschneider in langen Zügen ausziehen, um das grüne Gewebe aus den Blättern der ihnen zusagenden Pflanzen zu schneiden, so stehen die überfallenen Stöcke nachträglich als elende Krüppel da, die statt der grünen Blätter nur noch Gerippe aus den festen Gefäßbündelsträngen tragen. Daß die Blätter der Zekropien den Blattschneidern sehr begehrenswert sind, geht daraus hervor, daß diejenigen, welche gegen die Angriffe dieser Tiere nicht geschützt sind, regelmäßig überfallen, zerschnitten und vernichtet werden. Die Mehrzahl der Zekropien ist aber geschützt, und zwar merkwürdigerweise durch andere, sehr bissige und giftige Ameisen aus den Gattungen *Azteka* und *Crematogaster*, welchen von den schutzbedürftigen Pflanzen Wohnung und Nahrung geboten wird. Als Wohnung dienen Hohlräume im Stamme der *Cecropia*. Der Stamm ist, ähnlich dem der Doldenpflanzen, gegliedert. Zwischen zwei Knoten, welche die Ansatzpunkte der Blätter bilden, ist jedesmal ein Zwischenknotenstück (*Internodium*) eingeschaltet, das anfänglich mit Mark erfüllt ist, aber sehr bald hohl wird und dann eine zylindrische Kammer darstellt (Fig. 4). An jedem Zwischenknotenstücke bemerkt man an einer Seite eine feichte Rinne und am oberen Ende dieser Rinne einen ovalen Eindruck von der Größe eines Stecknadelskopfes. Dort ist das Gewebe der Wand verhältnismäßig dünn und leicht zu durchbohren. Das befruchtete Weibchen einer Art der Schutzameisen bohrt dort ein Loch in die Wand, bezieht den Hohlraum des betreffenden Zwischenknotenstückes als Wohnung und legt hier Eier. Das Loch in der Wand schließt sich wieder durch ein wucherndes Gewebe, dessen saftreiche Zellen von dem nun vollständig eingeschlossenen Weibchen als Nahrung benutzt werden. Später, wenn sich aus den Eiern und Larven Arbeiter entwickelt haben, wird von diesen das Loch wieder eröffnet. Auch in den Scheidewänden, welche die übereinanderstehenden Kammern des Stammes trennen, werden Löcher ausgebissen, so daß immer mehrere dieser Kammern miteinander in Verbindung stehen. Die Kammern bilden nun die Behausung zahlloser Schutzameisen. Die Nahrung, welche diesen von der *Cecropia* geboten wird, findet sich an der Außenseite der kurzen, aber auffallend verdickten Blattstielbasis. Man bemerkt dort schon an dem ganz jungen Blatte, von dem sich eben erst das Hüllblatt ablöst, einen weißen Wulst von quer-ovalem Umriß (Fig. 4). Dieser Wulst gestaltet



Schutz des grünen Gewebes gegen die Angriffe der Tiere: 1 *Acanthosicyos horrida*, mit grünen, bedornen Zweigen (zu S. 119 u. 135). Ameisenpflanzen: 2 Blattschneiderameise *Atta hystrix*, 3 Kinnbäden der *Atta hystrix*, 10fach vergrößert; 4 *Cecropia cinerea*, die zwei unteren Internodien des Stammes der Länge nach aufgeschnitten, oben die Schutzameise *Azteca instabilis* bei ihren Futterplätzen; 5 Müller'sche Körperchen zwischen den Haaren der Futterplätze an der Basis der Blattstiele, 15fach vergrößert, 6 ein einzelnes abgelöstes Müller'sches Körperchen, 20fach vergrößert; 7 *Acacia corailgora*, 8 die in hohle Stacheln umgewandelten Nebenblätter von unten gesehen, 9 Durchschnitt durch einen solchen Stachel; 10 Schutzameise *Pseudomyrma belli*. Die Ameisen nach Exemplaren aus der Sammlung des Myrmekologen Prof. G. Mayr in Wien. (Zu S. 422—425.)

sich alsbald zu einem Rissen, das mit weißen Kügelchen wie mit Insekteneiern besetzt erscheint (Fig. 5 u. 6). Sieht man näher zu, so stellt sich heraus, daß dort von einem eigentümlichen Gewebe Zellgruppen in Form sehr kurz gestielter Kügelchen gebildet und vorgeschoben werden. Wenn diese Zellgruppen, welche nach ihrem Entdecker Müller'sche Körperchen genannt werden, den Durchmesser von nahezu 1 mm erreicht haben, trennen sie sich von ihren Stielchen, fallen aber nicht sogleich ab, sondern bleiben noch kurze Zeit auf dem Rissen zurück. Neben den Kügelchen gehen aus dem Gewebe des Risses auch sehr zahlreiche Haare hervor, welche in ihrem unteren Teile perlenkornförmig gegliedert sind, nach oben aber von einer spitzen, sich verlängernden Zelle mit sehr engem Lumen wie von einer Granne abgeschlossen werden (Fig. 5). An diesen Granen bleiben die Kügelchen noch einige Zeit hängen, fallen aber schließlich infolge des Druckes der nachwachsenden Kügelchen oder durch irgendeinen anderen Anstoß ab. Da diese Kügelchen in ihren Zellen nahrhafte Stoffe, namentlich eiweißartige Verbindungen, Fett usw. enthalten, so bilden sie eine sehr gesuchte Nahrung für die Schutzameisen, und da die Bildung dieser Kügelchen längere Zeit andauert, so sind die Rissen an der Rückseite der dicken Blattscheiden immer mit frischer Nahrung besetzt. Die Schutzameisen kommen in großer Zahl zu den für sie reichlich gedeckten Tischen, treiben sich aber auch in der Umgebung derselben am Stamm, an den Blattstielen und Blattspreiten herum. Augenscheinlich überwachen sie auch die Blätter, an deren Grunde die nahrungsliefernden Rissen, und die Stämme, in deren Hohlräumen sichere Wohnungen ausgebildet sind. Es liegt ja in ihrem Interesse, jede den Zekropien drohende Gefahr abzuhalten, weil die Vernichtung dieser Gewächse mit dem Verlust ihrer Wohnung und Nahrungsquelle gleichbedeutend wäre. Bei jeder verdächtigen Erschütterung der blättertragenden Krone stürzen sie aus den von ihnen bewohnten Kammern hervor und stellen sich zur Wehr. Kommen blattschneidende Ameisen in Sicht, so werden diese überfallen und in die Flucht gejagt. Tatsächlich bleiben die Blätter solcher Zekropien verschont, auf denen sich wehrhafte Schutzameisen angesiedelt haben.

Die zweite Pflanzenart, die wir als Beispiel für den durch Ameisen gewährten Schutz des grünen Gewebes der Blätter gewählt haben, ist *Acacia cornigera* (s. Abbildung, S. 423, Fig. 7). Dieselbe zeigt ein buschiges Wachstum, gehört zu den Hülsenfrüchtlern, hat ihre Heimat im zentralen Amerika und wurde schon im Jahre 1763 von Jacquin als eine von Ameisen bewohnte Pflanze beschrieben. Ohne Schutz würde ihr doppeltgedecktes Laub eine Beute der Blattschneiderameisen werden. Ähnlich wie bei *Cecropia* wird aber auch bei dieser *Acacia* der Zutritt zu dem Laube den Blattschneidern durch besondere Schutzameisen verwehrt, welche als Entgelt für den gewährten Schutz Wohnung und Nahrung erhalten. Als Wohnung werden die zu Stacheln ausgebildeten Nebenblätter benutzt. Diese sind glänzend kastanienbraun, auffallend groß und im Inneren hohl (s. Abbildung, S. 423, Fig. 7—9). Die berufenen Schutzameisen bohren in der Nähe der festen Spitze dieser hohlen Stacheln ein rundes Loch, welches gerade groß genug ist, um von ihnen als Eingangs- und Ausfallstor benutzt zu werden (Fig. 8). Die Nahrung findet die Ameisenbesatzung an den grünen Blättern, und zwar an den Enden der kleinen Blattfiedern in Form kleiner Kügelchen, welche aus Zellen mit nahrhaftem Inhalte zusammengesetzt sind (Fig. 7). Wohnung und Nahrung der Schutzameisen werden demnach bei *Acacia cornigera* aus anderen Organen und an anderen Stellen ausgebildet als bei den Zekropien, aber im übrigen sind hier die Verhältnisse und Beziehungen der Blattschneider- und Schutzameisen unter sich und zu der Pflanze dieselben. Gewiß ist, daß die von der Schutzameise *Pseudomyrma Belti* (Fig. 10) besetzten Stöcke der

Acacia cornigera niemals von den Blattschneidern beschädigt werden; die in Stacheln umgewandelten Nebenblätter bilden eine weitere Schutzwehr des grünen Laubes.

Es mag hier auch der in die Reihe der Ameisenpflanzen gestellten Gattungen *Myrmecodia* und *Hydnophytum* gedacht sein, deren Arten der Baumborke als Epiphyten aufsitzen. Der knollenförmige Stamm dieser seltsamen Gewächse bildet sozusagen einen einzigen, mit zahlreichen Kammern und Gängen durchsetzten großen Wasserspeicher. In den Kammern haufen Ameisen, welche bei etwaigen Angriffen auf die Knollen aus ihren Behausungen hervorstürzen und sich zur Wehr setzen. Daß sich in der trockenen Jahreszeit auf die wasserhaltigen Knollenstämme die Angriffe dürstender Tiere richten, ist begreiflich, und ebenso begreiflich ist, daß die Bewohner dieser Knollenstämme dergleichen Angriffe zu verhindern und abzuwehren suchen. Es verhält sich hier ähnlich wie mit den wasserreichen Kakteen des tropischen und subtropischen Amerika, welche von den weidenden Tieren, namentlich den Einhufern, in der trockenen Jahreszeit als Wasserquellen aufgesucht werden, aber durch die spitzen, starrenden Stacheln gegen diese Angriffe geschützt sind. In diesem Sinne mögen die wehrhaften Ameisen in den Knollen der genannten Pflanzen, gerade so wie die spitzen Stacheln der Kakteen, als eine Schutzwehr für das wasserhaltende Gewebe gegen die Angriffe dürstender Tiere anzusehen sein.

Manche tropischen Ameisenarten führen noch andere Kulturen aus, wie die obengenannten Blattschneider in ihren Pilzgärten, die aber ebenfalls sehr merkwürdig erscheinen. Sie ziehen nämlich Blütenpflanzen, indem sie deren Samen auslesen und in die Wand ihres Nestes stecken, wo sie dann munter heranwachsen. Am Amazonasstrom sieht man auf den Bäumen und Sträuchern dichte Anhäufungen von Pflanzen, Arazeen, Bromeliazeen, Piperazeen, Morazeen, Kakteen, Solanazeen, Gesneriazeen, in buntem Gemisch. Sie entsprossen den faust- oder kopfgroßen Ameisenestern, deren äußere Wand sie ganz bedecken. Man hat durch Beobachtung festgestellt, daß die Samen dieser Pflanzen tatsächlich von Ameisen hingeschleppt und eingepflanzt wurden. Manchmal nehmen diese Ameisengärten gewaltige Dimensionen an und tragen Pflanzen mit 3 m langen Blättern (*Streptocalyx angustifolius*); sie können dann ein Gewicht von einem Zentner und mehr erlangen. Die Pflanzen bilden offenbar einen Schutz für das Nest, namentlich gegen die heftigen tropischen Regenfälle. Es eignen sich nun nicht alle Epiphyten zum Wachsen auf der Nestunterlage; daher ist es besonders merkwürdig, daß die Ameisen gewisse Pflanzen aus der reichen Flora ausgewählt haben, so daß diese Ameisengärten eine ganz besondere, übereinstimmende Flora besitzen.

In unserem Klima gestalten sich ähnliche Verhältnisse einfacher, fehlen aber nicht. Manche Blätter besitzen an der Unterseite, in den Winkeln der Blattnerven, kleine Haarschöpfe, die sich leicht an jedem Lindenblatt beobachten lassen. Sie umschließen mit dem zugehörigen Blattflächenstück und den Nerven einen Hohlraum, der während des Sommers von Milben bewohnt wird. Man nennt daher diese Räume Domatien (Wohnungen). Solche Domatien in verschiedener Form sind bei den Laubpflanzen weit verbreitet; Lundström hat 240 verschiedene Pflanzen mit Domatien aufgezählt, die teils als kleine behaarte Grübchen, teils als taschenförmige Höhlungen auftreten. Die Pflanzen hegen also offenbar durch Ausbildung der Domatien, die nicht infolge der Anwesenheit der Milben, sondern vor deren Zuwanderung entstehen, die tierischen Bewohner. Der Nutzen für die Pflanzen ist vielleicht darin zu erblicken, daß die Milben Pilzsporen von den Blättern abammeln und diese dadurch vor Parasiten schützen.

VIII. Die allgemeinen Bedingungen des Pflanzenlebens.

1. Die Atmung.

In den vorhergehenden Abschnitten dieses Buches haben wir eine Fülle von Äußerungen des Pflanzenlebens geschildert und auch die nächsten Bedingungen kennen gelernt, welche diese Lebensäußerungen verlangen. Allein außer diesen Bedingungen gibt es noch einige andere Forderungen, welche immer erfüllt sein müssen, wenn das Leben nicht stillstehen, sondern eine fortlaufende Erscheinung sein soll. Eine dieser Bedingungen ist die Zuführung von Sauerstoff, welche durch einen Vorgang bedingt ist, den man auch bei den Pflanzen Atmung nennt, und die andere ist eine gewisse Temperaturhöhe über dem Nullpunkt des Thermometers, ohne die das Leben nicht beginnt, und jenseits deren es erlischt.

Die Stoffe, welche in den grünen Zellen aus anorganischer Nahrung erzeugt werden, würden für die Pflanze ein aufgehäuftes, brach liegendes, totes Kapital sein, wenn sie in dem Zustande verblieben, in welchem sie gebildet wurden. Sie müssen verwertet, in Fluß gebracht, verteilt, umgesetzt und umgeprägt werden, und die hierzu nötigen treibenden Kräfte werden dadurch gewonnen, daß sich in der Zelle ein Vorgang abspielt, der gerade das Gegenstück von jenem ist, welcher sich bei ihrer Bildung vollzog. Damals wurde Kohlensäure gespalten, Sauerstoff ausgeschieden, ein Kohlenhydrat gebildet und dabei Wärme gebunden, jetzt werden die Kohlenhydrate zersetzt, es wird Sauerstoff aufgenommen, Kohlensäure ausgeschieden und dabei Wärme frei. Dieser Vorgang ist die Atmung. Wenn in der grünen Zelle Kohlensäure zersetzt wird und Zucker oder ein anderes Kohlenhydrat entsteht, so wird hierbei der Sonnenstrahl eingefangen und gebunden. Er liefert die Energie für den chemischen Prozeß. Aber auch zu Zeiten, wo kein Sonnenstrahl die Pflanze trifft, und an Orten, wo das Licht nicht hingelangt — wir brauchen nur an die unterirdischen Teile einer Pflanze zu denken —, finden chemische und andere Lebensvorgänge statt, die Arbeitsleistungen sind, für die gleichfalls eine Betriebskraft verlangt wird. Diese Kraft muß die Pflanze aus ihrem eigenen Körper gewinnen, und sie benutzt auf vielfachen Umwegen die Sonnenenergie, indem sie die bei der Synthese der Kohlenhydrate gewonnene Spannkraft durch Zerlegung dieser Stoffe wieder in lebendige Kraft umsetzt und mit dieser andere Lebensprozesse in Bewegung setzt. Es ist ähnlich wie bei einer Maschine. Wenn wir mit dieser Arbeit leisten wollen, müssen wir gleichfalls Stoffe opfern, die Energie liefern. Wir heizen daher die Maschine mit Kohle, die Wärme erhitzt das Wasser, und der Dampf liefert nun die Spannkraft für die Bewegung der Kolben, Hebel und Räder. Während aber der Brennstoff bei der Maschine nicht von dieser selbst stammt, verbrennt die Pflanze

etwas von ihrer eigenen Körpersubstanz. Sie ist gleichsam eine sich selbst regulierende Maschine. Freilich darf sich dieser Zerlegungsprozeß nicht auf die ganze Masse der in den grünen Zellen erzeugten Stoffe ausdehnen. Es wäre ja ganz widersinnig, wenn in einem Teile der Pflanze dasjenige wieder zerstört und in Kohlenäure und Wasser verwandelt würde, was in dem anderen Teil aus diesen Verbindungen zusammengesetzt und aufgebaut wurde. Tatsächlich beschränkt sich auch dieser Zerlegungsprozeß nur auf einen Teil der in den grünen Zellen erzeugten Stoffe, und man stellt sich den ganzen Vorgang am richtigsten so vor, daß ein Teil der in den grünen Zellen aus unorganischer Nahrung gebildeten Stoffe zum Weiterbau des Pflanzenkörpers verwendet wird, daß aber dieses Weiterbauen nur möglich ist, wenn ein anderer Teil die nötigen Kräfte zum Betriebe des Baues liefert. Der eine Vorgang ist daher gerade so wichtig wie der andere, sie ergänzen sich gegenseitig, und diese Ergänzung ist einer der wichtigsten Lebensprozesse der Pflanze.

Es wurde eben gesagt, daß zur Gewinnung der nötigen Betriebskräfte der Sauerstoff eingreift. Er veranlaßt eine Zerlegung von Pflanzensubstanz, wobei Kohlendioxyd entbunden wird. Dieser Vorgang ist also eine Oxydation, eine Verbrennung organischer Stoffe und mit jener Verbrennung von Kohlenhydraten, die im tierischen Körper bei der Atmung stattfindet, in eine Linie zu stellen. Man bezeichnet denselben auch im Pflanzenkörper als Atmung, wenn sich hier die Atmungsorgane auch nicht so lokalisiert zeigen, wie das im tierischen Körper gewöhnlich der Fall ist. In der Pflanze können alle lebendigen Teile, zu denen die atmosphärische Luft, genauer: der in ihr enthaltene Sauerstoff gelangt, atmen: die Wurzeln und Knollen, die Stengel und das Laub, die Blüten, Früchte und Samen; es atmen grüne Gewächse und chlorophyllose Schmarotzer, Pflanzen mit und ohne Spaltöffnungen, Verwesungspflanzen und Wasserpflanzen. Alle Pflanzen atmen, solange sie leben, und man kann bei ihnen nicht weniger als bei den Tieren Atmen und Leben im Sprachgebrauch als gleichbedeutend in Anwendung bringen.

Die erste Grundbedingung für die Atmung ist natürlich das Vorhandensein von freiem atmosphärischen Sauerstoff. Wo dieser fehlt, muß die Pflanze gleich dem Tier ersticken und sterben. Wenn man eine Pflanze unter den Rezipienten einer Luftpumpe stellt und die Luft auspumpt, oder wenn man sie in einen Raum bringt, der mit Wasserstoff oder Stickstoff oder Leuchtgas gefüllt ist, so hört alsbald die Strömung des Protoplasmas in den Zellen auf, Laub- und Blumenblätter, wenn sie an der lebenden Pflanze Bewegungsercheinungen zeigen, werden starr, und bei längerem Verweilen in dem Lustraume, welchem der Sauerstoff fehlt, stirbt die Pflanze. Wenn man sie nachträglich auch wieder in sauerstoffreiche Luft bringt, so bleibt sie doch tot und läßt sich nicht mehr zum Leben erwecken.

Die von atmosphärischer Luft umspülten Teile der Gewächse leiden wohl nirgends Not an Sauerstoff; die Wurzeln kommen dagegen manchmal in diese Lage, wenn nämlich in der Bodenluft die Menge des Sauerstoffes recht gering ist, oder wenn atmosphärische Luft durch andere Gase ersetzt wird. Es erklärt sich hieraus, warum in der sogenannten toten Erde keine Pflanzen aufkommen, und daß die Wurzeln ganz vorzüglich jene lockeren Stellen der oberen Erdschichten, welche porös und gut durchlüftet sind, aufsuchen, der tieferen, schlecht durchlüfteten toten Erde dagegen ausweichen. Auch das Absterben von Bäumen, welche in Städten und Parkanlagen in der Nähe von Leuchtgasleitungen gepflanzt wurden, und deren Wurzeln infolge eines Bruches oder von Undichtigkeit der Gasleitungsröhren einige Zeit hindurch mit Leuchtgas umspült wurden, wird dadurch erklärlich.

Die Wasserpflanzen entnehmen den Sauerstoff der im Wasser absorbierten atmosphärischen Luft. Dort, wo diese fehlt, hat auch das Pflanzenleben unter Wasser ein Ende. Wer bei der Versendung von Wasserpflanzen das dazu benutzte, mit Wasser gefüllte Gefäß gut verkorkt, in der Meinung, die Wasserpflanzen seien ja doch in ihrem Elemente und würden so eine längere Reise gut vertragen, wird arg enttäuscht. Die geringe Menge des Sauerstoffes der in dem Wasser enthaltenen atmosphärischen Luft ist bald verbraucht, und die Wasserpflanzen ersticken dann in dem Wasser binnen 24 Stunden oder auch in noch viel kürzerer Zeit, gerade so wie Fische, welche man in einer verkorkten, mit Wasser gefüllten Flasche transportieren wollte. Aber auch dann, wenn das Wasser mit der Atmosphäre in Berührung bleibt und die normale Menge von atmosphärischer Luft enthält, wie in Seen, Teichen und anderen Wasseransammlungen, sind die darin untergetaucht lebenden Pflanzen in betreff der Atmung in einer ungünstigen Lage. Den von atmosphärischer Luft umspülten Pflanzen stehen in einem Liter (1000 ccm) Luft ungefähr 210 ccm Sauerstoff zur Verfügung, die untergetauchten Wasserpflanzen dagegen können der in einem Liter Wasser gelösten atmosphärischen Luft nur 6 ccm Sauerstoff entnehmen. Und selbst diese geringe Menge Sauerstoff wird nur dann gewonnen, wenn die atmende Pflanze mit dem Wasser und dadurch mit der in demselben gelösten atmosphärischen Luft recht viele Berührungspunkte hat. Daraus erklärt sich, daß die atmenden Organe der rings von Wasser umgebenen Pflanzen ähnlich wie die Kiemen der Fische mit einer möglichst großen Oberfläche an das luftthaltige Wasser grenzen. Am vollkommensten ist dies bei jenen Algen erreicht, deren Zellen zu zarten, langen Fäden oder zu dünnen Häutchen und Bändern vereinigt sind. Bei den Samenpflanzen wird daselbe durch Zerteilung der Blätter in unzählige haardünne Zipfel (z. B. bei *Myriophyllum* und *Ceratophyllum*) oder durch Ausbildung dünner bandförmiger Blätter (wie bei *Vallisneria* und *Zostera*) erzielt. Die Aufnahme des Sauerstoffes wird überdies bei allen Wasserpflanzen dadurch erleichtert, daß die Wände der an das Wasser grenzenden Zellen nicht kutikularisiert sind.

Noch ungünstiger sind die Verhältnisse für die Atmung der Sumpfpflanzen, zumal derjenigen, welche im Schlamm wurzeln und auch mit einem Teil ihrer Stengel und Blätter im Schlamm oder in schlammigem Wasser stehen. Der Schlamm und das schlammige Wasser enthalten keine oder doch nur sehr wenig atmosphärische Luft, dagegen reichlich gasförmige Zersetzungsprodukte abgestorbener Pflanzen und Tiere. Diese sind zum Atmen nicht geeignet und viel eher dazu angetan, den Erstickungstod der ihnen ausgesetzten Pflanzen herbeizuführen. Das Gewebe dieser Sumpfpflanzen ist daher regelmäßig von Gängen und Kammern durchzogen, welche atmosphärische Luft enthalten. Man kann solche Gewebe geradezu als Luftgewebe und Luftspeicher bezeichnen. So wie in dem Wassergewebe (vgl. S. 244 und 245) für die Zeiten des Wassermangels Wasser aufgespeichert wird, erscheint hier atmosphärische Luft aufgespeichert, mit welcher die im Schlamm und schlammigen Wasser stehenden Teile der Pflanzen, wenn es nottut, versorgt werden können. Gleich dem Wassergewebe ist auch das Luftgewebe ungemein mannigfaltig ausgebildet. In dem einen Falle durchspinn und durchsetzt es gleichmäßig alle Teile der Pflanze, in dem anderen ist es vorwiegend an bestimmte Glieder gebunden. Bei *Alisma*, *Sagittaria*, *Sparganium*, *Typha* sind es die ganzen Blätter, bei *Pontedera crassipes* und *Trapa natans* vorzüglich die mit blasenförmigen Aufreibungen versehenen Blattstiele, bei *Equisetum*, *Hippuris*, *Juncus* und *Scirpus* das Innere der Stengel, wo sich das Luftgewebe besonders reichlich entwickelt. Die linsenförmige

Lemna gibba ist auf der unteren Seite von einem luftführenden Gewebe wie gepolstert, und auch die untere Seite der Blätter von *Trianea bogotensis* zeigt eine ähnliche Ausbildung. Manche Sumpfpflanzen erzeugen an beschränkten Stellen weiße schwammige, unter dem Namen Aerenchym bekannt gewordene Gewebe, zwischen deren zarten, in radialer Richtung gestreckten, saftführenden Zellen auffallend große, miteinander in Verbindung stehende und mit Luft erfüllte Interzellularräume eingeschaltet sind. Bei *Lythrum*, *Epilobium* und mehreren anderen im Schlamme der Wassergräben wachsenden aufrechten Stauden findet sich dieses schwammige Gewebe an den untersten Teilen der krautartigen Stengel, an dem Sumpfs-trauche *Neptunia oleracea* in Form von Wülsten an den wagerechten, flutenden, holzigen Stengelgliedern und wieder bei anderen Sumpfpflanzen an den Wurzeln. *Jussiaea repens* besitzt zweierlei Wurzeln, solche, die sich in den Schlamm einsenken und die Aufgabe haben, die nötigen Nährsalze zu gewinnen, und solche, welche zur Oberfläche des Wassers hin wachsen, und deren mittlerer Gefäßbündelstrang von weißem schwammigen Luftgewebe wie von einem Mantel umgeben ist. An einigen Mangrovebäumen (*Avicennia*, *Laguncularia*, *Sonneratia*) entspringen aus den im Schlamme steckenden Wurzeln Seitenwurzeln, welche gegen die Oberfläche des Wassers wachsen, sich darüber in die Luft erheben und an diesen Teilen mit Luftgewebe ausgerüstet sind. Die Luft gelangt in alle diese Luftgewebe aus der Atmosphäre, und zwar entweder durch Vermittelung der über das Wasser emporragenden oder auf dem Wasserpiegel schwimmenden Blätter oder durch die mit dem weißen schwammigen Aerenchym gepolsterten, zur Oberfläche des Wassers hinwachsenden Wurzeln. Aus den Luftspeichern kann dann auch den vom Schlamm umgebenen Teilen der Pflanze das zum Atmen nötige Maß von sauerstoffhaltiger atmosphärischer Luft zugeführt werden.

Es braucht wohl kaum besonders hervorgehoben zu werden, daß die Ausbildung dieser Luftgewebe für viele Sumpfpflanzen, wie namentlich *Trapa*, *Pontederia* usw., auch noch den Vorteil bietet, daß ihre Schwimmfähigkeit im Wasser des Sumpfes erhöht wird.

Die Untersuchungen über die Atmung haben ergeben, daß nicht alle Pflanzen mit gleicher Energie atmen, das heißt, daß unter gleichen äußeren Bedingungen und bei gleichen Größenverhältnissen der atmenden Teile die eine Art mehr, die andere weniger Sauerstoff verbraucht. Ebenso ist an jeder einzelnen Pflanze in betreff der Atmung ein großer Unterschied an den verschiedenen Teilen zu bemerken. Die chlorophyllosen Blumenblätter atmen viel kräftiger als die grünen Laubblätter, unterirdische, des Chlorophylls entbehrende Wurzelstöcke, Zwiebeln und Knollen bei weitem ausgiebiger als die grünen Stengel.

Ein großer Unterschied ergibt sich auch je nach den Entwicklungsstufen der einzelnen Pflanzenteile. Jugendliche Wurzeln, Stengel und Blätter atmen viel lebhafter als ausgewachsene. Wenn man Samen in feuchter Erde keimen läßt, so ist die Atmung anfänglich ganz unbedeutend, wenn aber die Teile des Keimlings sich zu strecken beginnen, wenn der ihnen von der Mutterpflanze mitgegebene Stoffvorrat in Fluß gebracht und verbraucht wird, ist auch die Atmung eine sehr energische; später, wenn dann der Keimling so weit herangewachsen ist, daß er mit Hilfe seiner inzwischen ergrünten Laubblätter arbeiten kann, nimmt die Atmung wieder ab. Bei der Entwicklung von Knospen verhält es sich ganz ähnlich; auch da wird von den sich aus den Knospenhüllen hervordrängenden jungen Blättchen weit mehr veratmet als von dem ausgewachsenen grünen Laube. Daß übrigens auch Teile, die ihre volle Größe erreicht haben und scheinbar ganz untätig sind, noch atmen, geht aus der Beobachtung hervor, daß Wurzeln und Knollen, die man im Herbst der Erde entnahm

und im Kellerraum über Winter liegen ließ, ohne äußerlich sichtbare Veränderung Kohlensäure aushauchen. An ausgegrabenen Zuckerrüben hat man innerhalb zweier Monate eine Abnahme des Zuckergehaltes um 1 Prozent und eine dieser Abnahme entsprechende Ausscheidung von Kohlensäure beobachtet, ein Beweis, daß auch in Gebilden, welche eine Winterruhe einhalten, eine Wandlung der Stoffe und eine Atmung stattfindet.

Nach dem, was oben über die Bedeutung der Atmung für das Leben der Pflanze gesagt wurde, ist es eigentlich ganz selbstverständlich, daß die Energie der Atmung, welche man aus der Menge der von einer bestimmten organischen Masse ausgehauchten Kohlensäure oder, noch besser, aus der Menge des aufgenommenen Sauerstoffes berechnet, desto größer ist, je stärker die Pflanze wächst, und je rascher sie ihren Körper weiterbaut, so wie ja auch eine Maschine desto mehr Heizmaterial bedarf, je größer ihre Leistungen sein sollen.

Eine annähernde Vorstellung von der Bedeutung der Atmung als treibender Kraft bei solchen Stoffwandlungen, deren Endziel der Weiterbau des Pflanzenkörpers ist, gewinnt man bei der Betrachtung folgender Zahlen. In einem Kubikzentimeter Kohlendioxyd sind 0,5376 mg Kohlenstoff enthalten, deren Verbrennungswärme 4677 Wärmeeinheiten ausmacht, von welchen das Arbeitsäquivalent 1987725 Grammillimeter gleich ist. Mit jedem bei der Veratmung von Kohlenhydraten ausgehauchten Kubikzentimeter Kohlendioxyd wird demnach ein Vorrat von Arbeitskraft gewonnen, der 1987725 Grammillimeter gleich ist, und es könnte durch diese Kraft ein Grammgewicht bis zur Höhe von 1987 m emporgeschleudert werden. Nun wurde aber ermittelt, daß Keimpflanzen des Mohnes, welche nachträglich getrocknet 0,45 g wogen, in 24 Stunden 55 cem, Keimlinge der Senfpflanze, die später getrocknet ein Gewicht von 0,55 g zeigten, in 24 Stunden 32 cem Kohlendioxyd bei der Atmung aushauchten, und es läßt sich nun leicht ermessen, welcher bedeutender Kraftvorrat durch die Atmung gewonnen wird, selbst dann, wenn infolge verschiedener Störungen und Hemmnisse der Effekt in der lebenden Pflanze weit hinter dieser Berechnung zurückbleiben sollte.

Wenn hier die lebendige Pflanze wie eine mit Kohle geheizte Maschine besprochen wird und ihre Arbeitsleistungen sogar in Zahlen angegeben werden, so liegt hierzu die Berechtigung in der Analogie der Vorgänge, die sofort in die Augen springt. Der Vergleich drängt sich jedem unwillkürlich auf, der da sieht, daß in beiden Fällen dieselben Triebkräfte ins Spiel kommen, und daß hier wie dort durch eine Verbrennung des Kohlenstoffes der nötige Vorrat an lebendiger Kraft gewonnen wird. Andererseits aber sind die Verbrennung in einer Maschine und die Atmung in einer lebendigen Pflanze doch wieder weit voneinander verschieden. Das Eigentümliche bei der Atmung der Pflanzen liegt darin, daß Stoffe mit dem Sauerstoff der atmosphärischen Luft verbunden werden, welche außerhalb des lebendigen Pflanzenkörpers mit diesem Elemente bei gewöhnlicher Temperatur keine Verbindungen eingehen. Weder die Kohlenhydrate, noch die Fette, noch die Eiweißstoffe, welche bei der Atmung in den Verbrennungsprozeß mittelbar oder unmittelbar einbezogen werden, unterliegen außerhalb der Pflanzenzelle den im Zellenleibe sich abspielenden Veränderungen und Zersetzung, und es kann als sichergestellt gelten, daß der Sauerstoff auf dieselben nur dann einwirkt, wenn er durch Vermittelung der lebenden Protoplasten auf sie übertragen wird.

Neuere Untersuchungen haben denn auch dahin geführt, sich etwas andere theoretische Vorstellungen von der Atmung zu machen, und sie nicht einer Oxydation, wie sie der Chemiker kennt und hervorruft, völlig gleichzuachten. Vielmehr muß man auf Grund experimenteller

Untersuchungen annehmen, daß sowohl der Kohlenstoff als der Sauerstoff der bei der Atmung gebildeten Kohlenäure von Zellbestandteilen abstammt. Die Atmung ist also zunächst ein innerer in den Zellen verlaufender Vorgang, den man auch intramolekulare Atmung genannt hat. Infolge der intramolekularen Atmung entstehen aber sauerstoffärmere Restprodukte, deren Affinitäten wieder nach Sättigung streben, und ihre Regeneration wird durch den Luftsaurestoff besorgt. Es hat also nur den Anschein, als ob der Sauerstoff der Luft die Kohlenstoffmoleküle aus den Zellbestandteilen abrisse, um Kohlenäure zu bilden. Vielmehr erscheint die Kohlenäurebildung als ein Spaltungsprozeß im lebenden Protoplasma, den ein fortwährender Sauerstoffzutritt wieder ausgleichen muß. Hört der letztere auf, so hört nach kurzer Zeit auch die innere Atmung auf, und die Pflanze stirbt. Läßt man in getötete Pflanzen Sauerstoff eindringen, so werden sie so wenig zum Atmen gebracht wie Schmetterlinge, welche infolge von Sauerstoffentziehung erstickt sind, und die man nachträglich wieder an die frische Luft bringt. Der Sauerstoff kann weder in vollständig erstickten Pflanzen noch in vollständig erstickten Tieren jene Bewegungen der Atome veranlassen, welche dem Leben eigentümlich sind.

Interessant ist es, daß wir bei Tieren so ähnliche Verhältnisse finden, daß die pflanzliche und tierische Atmung dadurch noch eine größere Übereinstimmung erhalten. Wenn man Tiere, die ein zähes Leben haben, z. B. Frösche, in sauerstofffreie Luft bringt, so gehen sie nicht sogleich zugrunde und hören auch nicht sofort auf, Kohlendioxyd auszuatmen; sie bringen noch eine Zeitlang eine gewisse Menge lebendiger Kraft durch Verbrennung von Kohlenstoffverbindungen in ihrem Körper auf. Da die umgebende Luft sauerstofffrei ist, so können sie dieser auch keinen Sauerstoff entnehmen; es bleibt daher nichts anderes übrig, als daß sie ihn aus organischen Verbindungen ihres eigenen Leibes gewinnen. Für die Dauer ist das freilich nicht durchführbar, und längeres Verweilen der Frösche in sauerstofffreier Luft hat zur Folge, daß sie schließlich absterben. Aber auf kurze Zeit vermögen sie auf die angegebene Weise ihr Leben immerhin zu fristen. Das ist also ganz dieselbe intramolekulare Atmung, wie sie bei den Pflanzen beobachtet wird.

Sonnenlicht ist für die Atmung nicht notwendig. Die Atmung kann im völligen Dunkel vor sich gehen. Unterirdische Teile: Wurzeln, Knollen, Zwiebeln, Rhizome, Ausläufer, desgleichen die Myzelien und Sporenträger der unter dem Namen Pilze zusammengefaßten Pflanzen, ebenso die in die Erde gesenkten Samen, atmen in der Dunkelheit. Die Atmung erfolgt selbst in finsterner Nacht.

Da die Atmung eine Verbrennung von Kohlenstoffverbindungen ist und jede solche Verbrennung durch Erhöhung der Temperatur gefördert wird, ist zu erwarten, daß die Atmung in der Pflanze um so ausgiebiger sein wird, je höher die Temperatur der zu veratmenden Stoffe und die Temperatur ihrer Umgebung ist. Und so verhält es sich in der Tat. Es wurde beobachtet, daß sich die Kohlenäureausscheidung und insofern die Atmung mit zunehmender Temperatur steigert, und zwar bis zur Grenze des Lebens. Sie kann schon unter 0° beginnen, erreicht aber keinen eigentlichen Höhepunkt, welcher bei anderen Lebenserscheinungen, z. B. der Assimilation, zwischen 35 und 37° liegt. Unter dem Einfluß von Temperaturen, welche ein Gerinnen der Eiweißstoffe veranlassen und eine Tötung des lebendigen Protoplasmas zur Folge haben, hat auch die Atmung ihr Ende erreicht.

2. Wärme- und Lichtentwicklung.

Wie bei jeder Verbindung des Sauerstoffes mit anderen Stoffen, insbesondere bei jeder Verbrennung von Kohlenstoffverbindungen, wird auch bei der Atmung Wärme frei. Nicht immer ist diese Wärme in dem Pflanzenteil, in dem sie entbunden wird, leicht nachzuweisen. Durch Verdunstung des Wassers und durch Ausstrahlung wird in den oberirdischen Organen, zumal in flächenförmig ausgebreiteten Laubblättern, der Erwärmung des atmenden Pflanzengewebes entgegengewirkt. Auch wird unter dem Einfluß des Sonnenlichtes im Laufe des Tages gerade in dem grünen Laube Kohlenensäure reduziert, ein Vorgang, welcher mit Bindung von Wärme Hand in Hand geht. Da nun dieser Vorgang den Erfolg der Atmung in den grünen Blättern gewissermaßen verdeckt, so ist es begreiflich, daß in den Laubblättern die durch die Atmung frei werdende Wärme nur selten wahrnehmbar ist, daß vielmehr grüne Laubblätter sich in der Regel kühl anfühlen. Ja, es ist sogar wahrscheinlich, daß die angenehme Kühle unter einem schattenden Laubdache nicht nur durch die Abhaltung der Sonnenstrahlen veranlaßt wird, sondern daß auch das Einfangen dieser Sonnenstrahlen, die Bindung der Wärme, bei der Erzeugung der ersten Kohlenhydrate in den grünen Blättern an der Abkühlung der diese Blätter umspülenden Luft beteiligt ist. Wo aber diese Umstände nicht in Betracht kommen, ist die entbundene Wärme der atmenden Pflanzenteile gerade so wie im tierischen Körper nachweisbar, und wenn atmende grüne Blätter weder verdunsten noch Wärme gegen den Himmelsraum ausstrahlen können, wenn überdies ein Vorrat von Kohlenhydraten in ihnen aufgespeichert ist, wird die bei dem Atmen frei werdende Wärme auch in der nächsten Umgebung sich fühlbar machen. Noch mehr gilt dies von unterirdischen Zwiebeln und Knollen, bei denen Verdunstung und Ausstrahlung unterbleiben oder doch sehr beschränkt sind.

Ähnlich wie diese atmenden unterirdischen Organe verhalten sich auch keimende Samen und des Chlorophylls entbehrende Keimlinge, vorausgesetzt, daß sie gegen Verdunstung und Ausstrahlung geschützt sind. Wenn lebhaft atmende, in Keimung begriffene Gerstenkörner dicht gehäuft beisammenliegen und dadurch die entbundene Wärme mehr zusammengehalten wird, erhöhen sie die Temperatur ihrer Umgebung recht auffallend. Malz ist gekeimte Gerste, und bei der Bereitung von Malz werden aufgehäufte Gerstenkörner zum Keimen gebracht. Hierbei wird nun die Temperatur der unmittelbaren Umgebung um 5—10° über die Temperatur der atmosphärischen Luft, welche die zusammengehäuften Gerstenkörner von außen umspült, erhöht.

Sehr lehrreich ist auch die Entbindung von Wärme bei den Pilzen. Diese entnehmen die organischen Verbindungen, aus denen sie ihr Myzelium und ihre Sporenträger aufbauen, aus anderen lebenden Organismen oder aus den verwesenden Resten abgestorbener Pflanzen und Tiere. Ihre Sporenträger, welche gemeinhin als Schwämme angesprochen werden, entwickeln sich oft ungemein rasch zu bedeutender Größe, und mit dieser raschen Entwicklung ist immer auch eine Bewegung der vom Myzelium aufgenommenen Nahrung in der Richtung gegen den Sporenträger und eine energische Atmung verbunden. Die Atmung findet vorzüglich an der Peripherie des Sporenträgers, bei den Hutpilzen besonders in dem gegen Verdunstung und Ausstrahlung am besten geschützten Sporenlager statt. Die in der freien Natur im Waldgrund an den nur wenig über den Boden sich erhebenden Hutpilzen ausgeführten

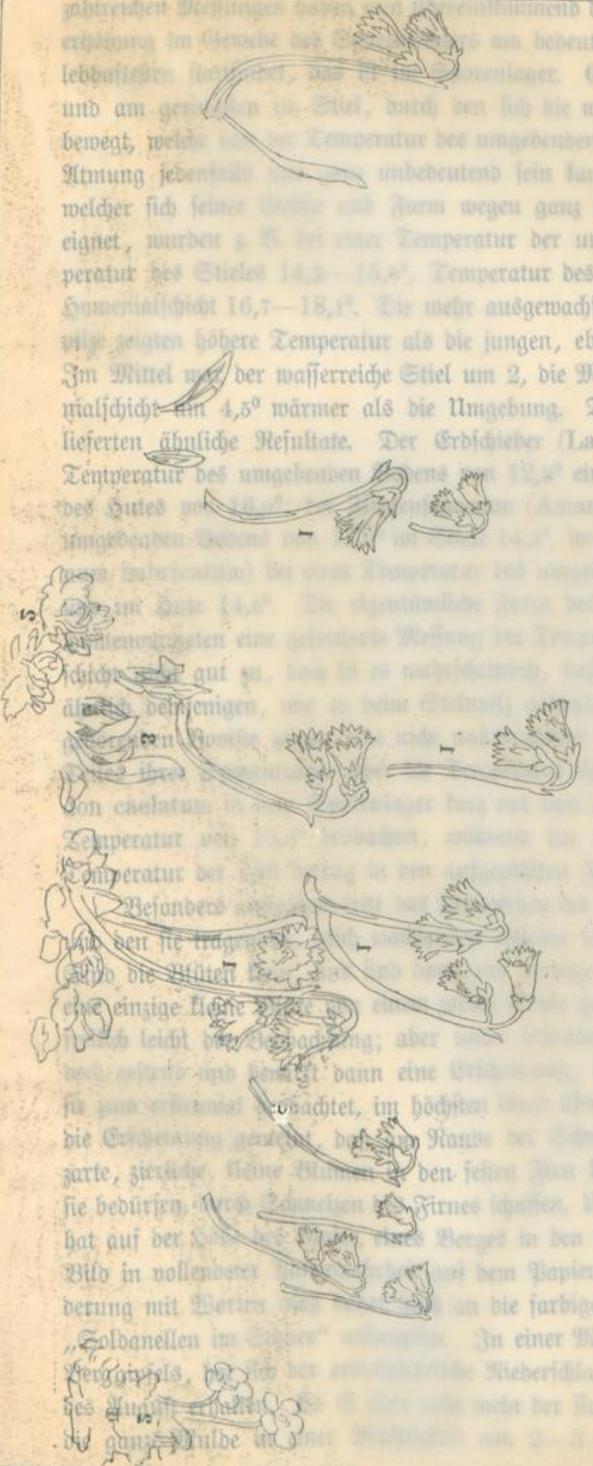


Soldanellen im Schnee. Nach Aquarell von Ernst Heyn.



Soldanellen im Schnee. Nach Aquarell von Ernst Heyn.

zahlreichen Messungen haben sich schließlich das Resultat geliefert, daß die Temperatur-
 erhöhung im Gewebe des Stieles am bedeutendsten dort ist, wo auch die Atmung am
 lebhaftesten vor sich geht, nämlich im Stielknäuel. Geringer ist sie im Markkörper des Hutes
 und am geringsten im Stiel, durch den sich die wässerige Flüssigkeit mit einer Temperatur
 bewegt, welche von der Temperatur des umgebenden Bodens nur wenig abweicht, und wo die
 Atmung jedenfalls unbedeutend sein kann. An dem Steinpilz (*Boletus edulis*),
 welcher sich seiner Größe und Form wegen ganz besonders gut zu solchen Untersuchungen
 eignet, wurden z. B. bei einer Temperatur der umgebenden Erde vor 13° ermittelt: Tem-
 peratur des Stieles 14,2—15,5°, Temperatur des Markkörpers im Hute 15,2—16,8°, der
 Hymenialschicht 16,7—18,1°. Die mehr ausgewachsenen (aber noch durchaus frischen) Stein-
 pilze zeigten höhere Temperatur als die jungen, eben erst aus dem Boden emporgetauchten.
 Im Mittel war der wasserreiche Stiel um 2, die Markschicht des Hutes um 3 und die Hyme-
 nialschicht um 4,5° wärmer als die Umgebung. Die Beobachtungen an anderen Hutpilzen
 lieferten ähnliche Resultate. Der Erdschieber (*Lactarius scrobiculatus*) zeigte bei einer
 Temperatur des umgebenden Bodens von 12,2° eine Temperatur des Stieles von 14,8 und
 des Hutes von 15,8°. Die *Amanita muscaria* bei einer Temperatur des umgebenden Bodens
 von 14,2° im Hute 15,2°, der *Habituschwamm* (*Hydnum repandum*) bei einer Temperatur des umgebenden Bodens von 12,2° im Stiel 13,4
 im Hute 14,2°. Die regelmäßige Form der Hymenien läßt bei diesen zuletzt genannten
 Pilzen zu erwarten, daß die Temperatur in der Mark- und in der Hymenialschicht
 sich nicht auf 10° erhebt, was in der That auch hier ein kleiner Unterschied vorliegt,
 aber nicht derjenige, wie er beim Steinpilz beobachtet wurde. Auch die zu den *Boletus*
 gehörenden *Boletus* (*Boletus*) zeigen eine Temperaturerhöhung der Temperatur des Stieles
 von caelatum im Hute 14,2° im Stiel 13,4°. Die Temperatur des Stieles des kugelförmigen *Sporangium* eine
 Temperatur von 14,2° im Stiel 13,4°, während der umgebende Boden nur 12,2° zeigte (die
 Temperatur des Stieles im Hute 14,2° im Stiel 13,4°).
 Besonders auffällig ist die Temperaturerhöhung an atmenden Blütenknospen
 und an den sie tragenden Stielen, sowie auch an geöffneten Blumen hervor-
 tritt. So die Blütenknospen an der Spitze des Stängels, oder wird nur
 eine einzige Blüte an der Spitze getragen, so entgeht die entbundene Wärme
 leicht der Beobachtung; aber in günstigen Verhältnissen macht sie sich
 doch leicht bemerkbar. So fällt dann eine Erdschicht, so kalt und eisig, daß sie
 für sich selbst nicht beobachtet, im höchsten Grade überreicht und verblüht wird. Es ist
 die Erscheinung gerade bei den Hände der Schneeflocken und Firnschnee in den Hochalpen
 zarte, zierliche kleine Blüten, die den festen Schnee hindurchwachsen und sich den Namen geben
 sie bedürfen, wie die Schneeflocken, Firnes schneeflocken. Unter ausgedehnter Kuppel des *Syn*
 hat auf der Höhe des Berges in den tyrolischen Zentralalpen, das eigenartige
 Bild in vollendeter Schönheit auf dem Papiere schwebend verstanden, und die
 derung mit Verrieselung an die farbige Darstellung auf der beigegezeichneten
 Goldanellen im Schnee zu zeigen. In einer Wüste, nahe der 2240 m hohen Klippe des
 Ferganapass, die über der umgebenden Niederlage vom Winter her bis in die ersten Tage
 des Jahres im Schnee liegt, ist es nicht der lockige, weiche Schnee, wie er vor Kaspien
 im ganzen Gulde in der Höhe von 2—3 m erfüllt, sondern eine in den unteren



[Natur. Institut: Botanisches Museum]

[Zur Tafel: »Soldanellen im Schnee.«.]



Soldanellen im Schnee. Nach Aquatell von Ernst Heyn.

1. *Soldanella pusilla* und *alpina*. — 2. *Ranunculus alpestris*. — 3. *Polygonum viviparum*.

zahlreichen Messungen haben nun übereinstimmend das Resultat geliefert, daß die Temperaturerhöhung im Gewebe des Sporenträgers am bedeutendsten dort ist, wo auch die Atmung am lebhaftesten stattfindet, das ist im Sporenlager. Geringer ist sie im Markkörper des Hutes und am geringsten im Stiel, durch den sich die wässerige Flüssigkeit mit einer Temperatur bewegt, welche von der Temperatur des umgebenden Bodens nur wenig abweicht, und wo die Atmung jedenfalls nur ganz unbedeutend sein kann. An dem Steinpilz (*Boletus edulis*), welcher sich seiner Größe und Form wegen ganz besonders gut zu solchen Untersuchungen eignet, wurden z. B. bei einer Temperatur der umgebenden Erde von 13° ermittelt: Temperatur des Stieles $14,2$ — $15,6^{\circ}$, Temperatur des Markkörpers im Hute $15,2$ — $16,8^{\circ}$, der Hymenialschicht $16,7$ — $18,1^{\circ}$. Die mehr ausgewachsenen (aber noch durchaus frischen) Steinpilze zeigten höhere Temperatur als die jungen, eben erst aus dem Boden emporgetauchten. Im Mittel war der wasserreiche Stiel um 2, die Markschicht des Hutes um 3 und die Hymenialschicht um $4,5^{\circ}$ wärmer als die Umgebung. Die Beobachtungen an anderen Hutpilzen lieferten ähnliche Resultate. Der Erdschieber (*Lactarius scrobiculatus*) zeigte bei einer Temperatur des umgebenden Bodens von $12,2^{\circ}$ eine Temperatur des Stieles von $14,8$ und des Hutes von $16,0^{\circ}$; der Fliegenschwamm (*Amanita muscaria*) bei einer Temperatur des umgebenden Bodens von $13,0^{\circ}$ im Stiele $14,2^{\circ}$, im Hute $15,2^{\circ}$; der Habichtschwamm (*Hydnum imbricatum*) bei einer Temperatur des umgebenden Bodens von $12,2^{\circ}$ im Stiele $13,0$ und im Hute $14,5^{\circ}$. Die eigentümliche Form des Hutes läßt bei diesen zuletzt genannten Hymenomyceten eine gesonderte Messung der Temperatur in der Mark- und in der Hymenialschicht nicht gut zu, doch ist es wahrscheinlich, daß auch hier ein kleiner Unterschied besteht, ähnlich demjenigen, wie er beim Steinpilz gefunden wurde. Auch die zu den Bauchpilzen gehörenden Boviste zeigen eine nicht unbedeutende Erhöhung der Temperatur des atmenden Teiles ihrer Sporenträger über die Temperatur ihrer Umgebung. So wurde an *Lycoperdon caelatum* in dem Sporenlager kurz vor dem Öffnen des kugeligen Sporenträgers eine Temperatur von $15,8^{\circ}$ beobachtet, während der umgebende Boden nur $12,2^{\circ}$ zeigte (die Temperatur der Luft betrug in den aufgezählten Fällen 10 — 13°).

Besonders auffallend tritt das Freiwerden der Wärme auch an atmenden Blütenknospen und den sie tragenden, rasch wachsenden Stielen sowie auch an geöffneten Blumen hervor. Sind die Blüten klein, und sind deren nur wenige am Ende des Stengels, oder wird nur eine einzige kleine Blüte von einem zarten Stiele getragen, so entgeht die entbundene Wärme freilich leicht der Beobachtung; aber unter besonders günstigen Verhältnissen macht sie sich doch geltend und bewirkt dann eine Erscheinung, so seltsam und rätselhaft, daß jeder, der sie zum erstenmal beobachtet, im höchsten Grad überrascht und verblüfft wird. Es ist hiermit die Erscheinung gemeint, daß am Rande der Schnee- und Firnfelder in den Hochgebirgen zarte, zierliche, kleine Blumen in den festen Firn hineinwachsen und sich den Raum, dessen sie bedürfen, durch Schmelzen des Firnes schaffen. Unser ausgezeichneteter Künstler Ernst Heyn hat auf der Höhe des Blaser, eines Berges in den tirolischen Zentralalpen, das eigentümliche Bild in vollendeter Naturwahrheit auf dem Papiere festzuhalten verstanden, und die Schilderung mit Worten mag daher auch an die farbige Darstellung auf der beigehefteten Tafel „Solbanellen im Schnee“ anknüpfen. In einer Mulde, nahe der 2240 m hohen Kuppe des Berggipfels, hat sich der atmosphärische Niederschlag vom Winter her bis in die ersten Tage des August erhalten. Es ist aber nicht mehr der flockige, weiche Schnee, wie er vor Monaten die ganze Mulde in einer Mächtigkeit von 2 — 3 m erfüllte, sondern eine in den unteren

Schichten feste und durchscheinende und nur obenauf weiche, körnige Masse, die aus dem Winterschnee hervorgegangen. Es ist Firn, genau so wie an der Oberfläche der Gletscher am Feuerstein und der Schneespitze, welche im Hintergrunde des Bildes aufragen; ja, in den untersten, dem Boden unmittelbar aufliegenden Schichten hat sich Eis gebildet, und in Wahrheit liegt ein kleiner Gletscher in der Mulde, der sich von den Gletscherfeldern des Hintergrundes nur dadurch unterscheidet, daß wegen geringerer Mächtigkeit die durch Druck bedingten Phänomene in seiner Tiefe nicht zur Entwicklung kommen, und daß er bis zur Mitte des Augustmonates gänzlich abgeschmolzen ist, so daß dann auf dem Boden der Mulde noch ein grüner, mit bunten Blumen durchwirkter Teppich aus niederen Ranunkeln, Gentianen, Nelken, Steinbrechen, Seggen, Gräsern und liegenden Weiden entstehen kann. Das durch die feinen Kanäle der eisigen unteren Schicht durchsickernde Schmelzwasser gelangt auf den Boden der Mulde, in der das Firnfeld eingebettet ist; dort durchfeuchtet es die Erde und benetzt auch die in dieser Erde wurzelnden Pflanzen. Die untere, zu Eis gewordene Schicht des Firnfeldes liegt zwar dem Boden dicht auf, erscheint aber nirgends an denselben angefroren. Das über den eisbedeckten Boden abfließende Schmelzwasser zeigt die Temperatur von 0°. Obenauf in der durchweichten, verschiebbaren Schicht des kleinen Firnfeldes findet man häufig Bienen, Hummeln und Falter, welche hier ihren Tod gefunden haben, ebenso finden sich durch die Stürme herbeigewehte abgestorbene Blättchen von Alpenpflanzen und der auf S. 31 erwähnte atmosphärische Staub (Kryokonit), welcher sich in Form dunkler Bänder und Flecke vorzüglich am Rande des Firnfeldes hinzieht. Auch an lebendigen Wesen fehlt es nicht. Ab und zu stellen sich die Zellen der *Sphaerella nivalis* ein, welche einzelne Stellen schmutzigrot färben, und die kleinen, schwarzen, unter dem Namen Gletscherflöhe bekannten Poduren treiben sich an den vom atmosphärischen Staube beschmutzten Stellen herum.

Aber auch unter dem Firnfeld wird es lebendig. Aus dem vom Schmelzwasser überrieselten Erdreich erheben sich die Blütenknospen der zierlichen Soldanellen, zumal der in solchen Schneemulden zu Tausenden wachsenden *Soldanella pusilla*, welche schon im verfloffenen Jahre vorbereitet wurden, deren Stengelchen aber damals nur einige Millimeter Länge erreichten. Diese Stengelchen wachsen nun tatsächlich bei einer Temperatur der Umgebung von 0° bogenförmig in die Höhe, die von ihnen getragenen Blütenknospen werden dadurch gehoben und kommen mit der unteren, dem Boden zugewandten Seite des Firnfeldes in Berührung. Die Blütenknospen vergrößern sich ziemlich rasch und beginnen sich violett zu färben. Dieses Wachstum erfolgt auf Kosten des Vorrates an Stoffen, welchen die Soldanellen im vorhergehenden Sommer gewonnen und zum Teil in den immergrünen, lederigen, platt dem Boden aufliegenden Laubblättern, zum Teil in den kurzen, in der Erde eingebetteten Wurzelstöcken aufgespeichert hatten. Es sollen diese Stoffe als Baustoffe verwendet werden, und um das möglich zu machen, sie in Fluß zu bringen, an die Stellen des Verbrauches hinzuführen und hierzu die nötigen Triebkräfte zu gewinnen, wird ein Teil derselben veratmet. Die bei dieser Atmung frei werdende Wärme schmilzt in der unmittelbaren Umgebung der sich vergrößernden Blütenknospen das körnige Eis des Firnfeldes, welches die wachsenden Soldanellen überdeckt. Das hat zur Folge, daß sich über jeder Soldanellenknospe eine Aushöhlung im Eise bildet, oder besser gesagt, daß jede Soldanellenknospe wie von einer kleinen Eiskuppel überwölbt wird. Noch immer wächst aber der Stengel in die Länge; die von ihm getragene atmende und Wärme entbindende Blütenknospe wird daher in den kuppelförmig ausgehöhlten Raum emporgehoben und hineingeschoben. Sie veranlaßt dort neuerdings eine Schmelzung des Eises

und eine Verlängerung des Hohlraumes und bahnt sich somit selbst einen Weg durch die Eisschicht nach oben. Das geht so fort und fort, und endlich hat sich die atmende und Wärme entwickelnde Soldanellenknospe einen förmlichen Kanal durch die Firndecke ausgeschmolzen, kommt über dieser zum Vorschein, und der Stengel erscheint durch die Firnlage wie durchgesteckt. Die Blütenknospe öffnet sich jetzt, und man sieht das zierliche violette Glöckchen über dem Firnfeld im Winde schwanke. Begreiflicherweise wird das Firnfeld dort am ehesten durchlöchert werden, wo es am dünnsten ist, und das ist in der Nähe des Randes der Fall, wo auch das Abschmelzen von obenher am raschesten vor sich geht. Man sieht daher vorzüglich den Saum des Firnfeldes durchlöchert und dort durch die Löcher die Soldanellen herausgewachsen. Stellen, wo 10—12 Blüten auf einer kaum meterlangen Strecke des Randes emporkommen, sind durchaus keine Seltenheit. Wer näher zusieht und durch den Firn Durchschnitte mit Beil und Spaten macht, kann sämtliche geschilderte Entwicklungsstufen nebeneinander sehen. Aber auch noch zwei andere Erscheinungen werden ihm nicht wenig auffallen. Er wird nämlich hier und da einzelne Soldanellen finden, deren Knospen sich bereits geöffnet haben, bevor sie über die Firndecke emporgehoben wurden. Solche Soldanellen blühen dann tatsächlich in einer kleinen Aushöhlung des Firnes; ihr Blühen beschränkt sich auch merkwürdigerweise nicht nur auf das Öffnen der Blumenkrone; es findet sogar ein Öffnen der Antheren statt, und nimmt man derlei Soldanellenblüten aus ihrem kleinen Eishause heraus und stößt an die kegelförmig zusammenschließenden Antheren, so kann man deutlich ein Herausfallen des Blütenstaubes beobachten.

Noch ist zu erwähnen, daß die grünen Blätter der Soldanellen, welche unter dem Schnee und Firne platt dem Boden aufliegen, im Verlaufe des Wachstums der Blüten ihre Prallheit einbüßen, und daß die in ihnen aufgespeicherten Reservestoffe vollständig von dem auswachsenden Stengel und der auswachsenden Blüte verbraucht werden. Die grünen Blätter werden dann runzelig und gehen zugrunde, während sich nach dem Abschmelzen des Firnes neue Laubblätter entwickeln, die sich mit Reservennahrung versorgen, damit in der nächsten Vegetationsperiode die auswachsenden Stengel und Blüten genügend ernährt werden können.

Neben den Blüten der Soldanellen findet man ab und zu auch jugendliche, noch gelbrote Laubblätter des *Polygonum viviparum*, welche von untenher in den Firn hineinwachsen und mitunter dicht am Rande des Firnfeldes Löcher in denselben schmelzen, wie das auch auf der Tafel bei S. 433 dargestellt ist. Die weißen Blüten des mit den Soldanellen an gleichem Standorte gesellig wachsenden *Ranunculus alpestris* haben dagegen die Fähigkeit, den Firn zu durchwachsen, nicht erlangt und bedürfen als Anregung zum Wachstum eine Temperatur, welche schon etwas höher als 0° ist, demzufolge sie ihre Blüten immer erst an den vom Firnschnee kurz vorher verlassenen Plätzen entfalten.

Wie groß die von den kleinen Blütenknospen der Soldanellen entbundene Wärme ist, würde sich zwar aus der Menge des geschmolzenen Eises berechnen lassen, aber es kämen bei einer derartigen Berechnung so viel Fehlerquellen ins Spiel, daß die gewonnenen Zahlen doch nicht den Anspruch auf Genauigkeit machen könnten. Es genügt die beobachtete Tatsache, wenn sie auch nicht durch kalorimetrische Ziffern belegt ist.

Das Schmelzen des Eises durch die beim Atmen der Soldanellen frei werdende Wärme ist übrigens auch insofern von größtem Interesse, weil dadurch der Beweis geliefert wird, daß selbst kleine, vereinzelt stehende, ungemein zarte Blüten nicht nur ihr eigenes Gewebe, sondern auch die Umgebung erwärmen, und daß die freier werdende Wärme in ihnen nur darum nicht

wahrnehmbar wird, weil, wie schon oben bemerkt, Verdunstung und Ausstrahlung im entgegengesetzten Sinne wirken, und weil die atmenden Blüten für gewöhnlich von atmosphärischer Luft umspült, also von einem Medium umgeben sind, das beweglicher nicht gedacht werden könnte. Die Luft, welche in der einen Sekunde von der atmenden Blüte erwärmt wird, ist in der nächsten Sekunde schon weithin entführt und durch andere Luft ersetzt. Das gilt besonders von Blüten mit flachschüsselförmigen, nach oben zu weit offenen Kronen, in deren Bereiche von einem Stagnieren der Luft keine Rede sein kann. Wenn dagegen die Blüte die Form einer Sturzglocke hat, wie bei dem Fingerhute, den Gloxinien und den meisten Glockenblumen, wenn sich eines der Blätter als Helm emporwölbt, wie bei dem Eisenhute, wenn die Blüten röhrig, an der Basis tonnenförmig aufgetrieben oder krugförmig erweitert sind, wie bei den Aristolochien, oder wenn sie tiefe Trichter und Becher bilden, wie bei vielen Kakteen und Kürbisgewächsen, so wird die Luft in dem versteckten Raume kaum bewegt, es herrscht im Blütengrunde Windstille, die dort angesammelte und erwärmte Luft wird sich in dem windstillen Winkel ziemlich unverändert erhalten und nicht so leicht durch andere ersetzt werden.

An kühlen Tagen kann man daher im Inneren solcher Blüten, selbst dann, wenn sie ganz vereinzelt stehen, eine Erhöhung der Temperatur über die Temperatur der umgebenden Luft deutlich durch das Thermometer wahrnehmen. Auf einer Alpenwiese zeigte bei einer Lufttemperatur von $8,4^{\circ}$ am Morgen kurz nach Sonnenaufgang das Innere einer Blüte von *Gentiana acaulis* die Temperatur von $10,6^{\circ}$. Bei trübem Himmel und ruhiger Luft zeigte auf einer Bergwiese das Innere einer Blume von *Campanula barbata* $16,6^{\circ}$ und nicht weit davon entfernt an einem Waldrande das Innere des helmförmigen Blumenblattes von *Aconitum paniculatum* $14,6^{\circ}$, während die Lufttemperatur außen in beiden Fällen nur $13,2^{\circ}$ betrug. Bei weitem ausgiebiger erhöht sich die Temperatur der Luft im Bereich einer atmenden Pflanze, wenn zahlreiche kleine, dicht zusammengedrängte Blüten von einer gemeinsamen Hülle umgeben sind, und wenn diese Hülle derartig gestaltet ist, daß in dem von ihr umschlossenen Raume Windstille herrscht. Auf derselben Bergwiese, auf welcher die Temperatur der obenerwähnten Glockenblume (*Campanula barbata*) geprüft wurde, stand auch die Wetterdistel (*Carlina acaulis*) in voller Blüte. Da der Himmel trübe war, erschien auch das Distelköpfehen geschlossen, d. h. die starren Hüllblätter waren mit ihren Spitzen zusammengeneigt und bildeten einen die Blüten überdeckenden Hohlkegel. Das Thermometer zwischen diesen Hüllblättern, abwärts bis zu den Blüten eingeführt, zeigte eine Temperatur von $20,4^{\circ}$, die umgebende Luft $13,2^{\circ}$. Es ergab sich demnach hier ein Unterschied von mehr als 7° .

An jenen Palmen, deren zahlreiche kleine, gehäufte Blüten von großen Blütencheiden eingehüllt sind, zeigt die Luft innerhalb dieser Hüllen eine Erhöhung der Temperatur, die so auffallend ist, daß man sie durch das Einführen der bloßen Hand wahrnehmen kann. Dasselbe gilt von vielen tropischen Aroideen. Auch hier sind zahlreiche kleine Blüten zu einer Ähre mit dicker, fleischiger Spindel, einem sogenannten Kolben, vereinigt, und jeder Kolben ist von einem Hüllblatt umgeben, das anfänglich wie eine Tüte zusammengewickelt, häufig auch tonnenförmig aufgetrieben oder blasenförmig ausgeweitet, kurz in den seltsamsten Gestalten ausgebildet ist, immer aber einen Hohlraum umschließt, dessen Luft von einem äußeren Luftzuge kaum berührt wird. In diesen Hohlraum kann ein Thermometer mit entsprechender Vorsicht eingeführt, und es kann die von ihm angegebene Temperatur mit jener der Umgebung verglichen werden. Man fand nun bei einer gleichzeitigen äußeren Lufttemperatur von 25° die Temperatur im Inneren der Blütenhülle bei der brasilianischen *Tornelia fragrans* nahezu

38°. Bei derselben Lufttemperatur beobachtete man innerhalb der Hülle des *Arum cordifolium* auf der Insel Réunion eine Temperatur von 35—39°. Die höchste Temperatur aber wurde an dem italienischen Aron (*Arum italicum*) bemerkt. Diese Pflanze ist im Gebiete der mittelländischen Flora ungemein verbreitet und unter Gebüsch am Rande der Weinberge, ja selbst an Zäunen und Straßenrändern häufig anzutreffen. Seine von einer großen, bleichen, grünlichgelben Hülle umgebenen Blütenkolben schieben sich im Frühling wie umgekehrte Tüten aus der Erde hervor; die Blütenhülle beginnt sich zwischen 4 und 6 Uhr nachmittags zu öffnen, indem sich zugleich ein eigentümlicher, an Wein erinnernder Duft in der Umgebung bemerkbar macht. Wird nun ein Thermometer in die Höhlung dieses Hüllblattes eingeführt, so ergibt sich, daß bei einer gleichzeitigen Lufttemperatur von ungefähr 15° die Temperatur im Inneren auf 40, ja mitunter sogar auf nahezu 44° steigt. Solche Aroideen zeigen demnach im Bereich ihrer atmenden Blüten eine Temperatur, die jene des menschlichen Blutes noch übertrifft.

In dem Maß, als mit steigender Temperatur der umgebenden Luft vom Morgen bis zum Nachmittage die Energie des Atempens zunimmt, erhöht sich auch die Temperatur im Inneren der Blüten, wie aus folgenden Messungen hervorgeht, die an einer gegen den direkten Einfluß der Sonnenstrahlen geschützten Stelle an der Blüte eines Fingerhutes von 7 Uhr morgens bis 3 Uhr nachmittags von zwei zu zwei Stunden vorgenommen wurden:

Temperatur im Inneren der glockenförmigen Blumentrone	
des roten Fingerhutes.	8,8°, 15,2°, 17,7°, 20,0°, 21,2°
Gleichzeitige Temperatur der umgebenden Luft.	8,7°, 15,0°, 17,2°, 19,1°, 19,5°
Unterschied	0,1°, 0,2°, 0,5°, 0,9°, 1,7°

Während die Entbindung von Wärme an allen lebenden Pflanzen vorkommt und eine natürliche Folge der Atmung, d. h. der physiologischen Verbrennung von Kohlenstoffverbindungen ist, wird bei ihnen die Entwicklung von Licht, welche sonst mit den Verbrennungsvorgängen vielfach verbunden erscheint, nur äußerst selten beobachtet. Leicht zu beobachten ist sie bei jenen Spaltpilzen, durch welche das Leuchten toter Fische (*Bacillus lucifer* u. a.) und von Fleisch (*Bacterium phosphoreum*) veranlaßt wird, bei einigen, den Algen nahestehenden marinen Peridineen, welche an dem Meeresleuchten beteiligt sind, und bei mehreren Hutpilzen. Von diesen letzteren sind zunächst jene hervorzuheben, bei denen die oberirdischen Sporenträger, zumal das an der unteren Seite des Hutes entwickelte Sporenlager, bisweilen auch der den Hut tragende Strunk, das Leuchten zeigen. Hierher gehören namentlich der brasilische *Agaricus Gardneri*, der in Amboina heimische *Agaricus igneus*, der in Manila vorkommende *Agaricus noctilucens* und der in Südeuropa durch das mittelländische Florengebiet weitverbreitete *Agaricus olearius*. An diese Gruppe schließt sich eine zweite, bei welcher das Leuchten nicht von den Sporenträgern, sondern von dem Myzelium ausgeht, als deren Vorbild der unter dem Namen Hallimasch bekannte *Agaricus melleus* gelten kann. Das Myzelium dieses Blätterpilzes ist sehr vielgestaltig. Es bildet teils dickere, dunkle, durch Querspangen vielfach verbundene Stränge, welche sich vorzüglich zwischen Holz und Rinde hingehen und dort häufig die sonderbarsten Netze und Gitter bilden, teils sehr zarte und dünne, dunkle Fäden, welche sich in das Holz, und zwar mit Vorliebe senkrecht auf die Längsachse des betreffenden Stammes, einlagern, und endlich ungemein zarte, farblose Fäden, welche die Holzzellen in der auf S. 384 geschilderten Weise durchwachsen, das ganze Holz förmlich durchspinnen und für das freie Auge nur erkennbar werden, wenn sie sich zu Netzen verweben, die man dann als weißliche Nester, Fäden, Franzen und Häutchen den Wandungen der im

zerstörten Holze sich bildenden Spalten und Löcher aufgelagert sieht. Diese feinen Fäden und Gespinste des Myzeliums sind es auch, welche das merkwürdige Leuchten zeigen. Dort, wo sie die Holzzellen ganz durchwuchern, macht es den Eindruck, als ob das Holz selbst leuchten würde, und gemeinhin spricht man auch von leuchtendem Holz und leuchtendem Moder der Baumstrünke. Am schönsten beobachtet man dieses Leuchten in der freien Natur im Hochsommer und Herbst nach mehrtägigem Regenwetter, wenn das von dem Myzelium durchwucherte Holz von den atmosphärischen Niederschlägen befeuchtet wurde. Doch darf die von dem Holz aufgenommene Feuchtigkeit ein gewisses Maß nicht übersteigen. Eine zu starke Durchnässung verhindert die Lichterscheinung gerade so wie eine zu weitgehende Austrocknung. Entfernt man das Holz von der Stelle, wo es besonders schön leuchtet, so nimmt das Leuchten ziemlich rasch ab, um endlich ganz zu erlöschen, wenn auch an dem neuen Orte scheinbar die ganz gleichen Verhältnisse und Lebensbedingungen gegeben sind. Leuchtendes Holz, welches im Freien in der Nacht aufgelesen und in eine Stube oder in einen Keller gebracht wird, wo möglichst genau jene Bedingungen hergestellt sind, unter denen das Leuchten in der freien Natur stattfand, zeigt in der ersten Nacht die Lichterscheinung noch ganz ungeschwächt, aber schon nach 24 Stunden erreicht sie gewöhnlich ihr Ende. Bringt man leuchtendes Holz in einen abgeschlossenen Raum, wo die Erneuerung der atmosphärischen Luft und damit des Sauerstoffes derselben nicht ausgiebig genug stattfindet, so hört das Leuchten sehr bald auf. Erhöhung der Temperatur wirkt nicht immer befördernd auf das Leuchten ein, was vorzüglich darin seinen Grund haben dürfte, daß die Erhöhung der Temperatur eine Änderung im Feuchtigkeitszustande des Holzes nach sich zieht. Im Waldgrunde kann man, wenn anders die Feuchtigkeitsverhältnisse sich gleichbleiben, das Leuchten länger als eine Woche hindurch Nacht für Nacht an dem gleichen Holzstrunke beobachten. Das Licht, das von dem Myzelium ausgeht, läßt sich schwer mit irgendeinem anderen vergleichen. Es ist nicht so grün wie jenes der Leuchtfläse und hat auch nicht jenen Schimmer, wie er beim Meerleuchten vorkommt; es ist ein weißes, mattes Licht. Am meisten nähert es sich dem des reinen, unter Wasser gehaltenen Phosphors. Im Dunkel des Waldes macht es einen befremdenden und darum unheimlichen Eindruck. Die „Irrlichter“ dürften, zum Teil wenigstens, auf leuchtendes Holz zurückzuführen sein. Wenn man einen von dem leuchtenden Myzelium durchwucherten morschen Baumstrunk mit Gewalt anstößt, so daß er in Hunderte von Bruchstücken zersplittert, die in weitem Umkreise zerstreut zu Boden fallen, so zeigt noch jeder Splitter das Leuchten, und der dunkle Waldgrund ist mit größeren und kleineren Lichtpunkten wie besät. Das Leuchten solcher Bruchstücke hat aber bis zur nächsten Nacht gewöhnlich schon sein Ende erreicht.

Das von dem Sporenlager und dem Stiele der in die erste Gruppe der leuchtenden Hutpilze gehörenden Arten der Gattung *Agaricus* ausgehende Licht gleicht ganz jenem des Myzeliums des Hallimasch, und auch die äußeren Bedingungen, unter welchen es zustande kommt, sind ähnliche. Nur haben hier die Feuchtigkeitsverhältnisse nicht jenen auffallenden Einfluß, den man am leuchtenden, von Myzelfäden durchwirkten Holze bemerkt. An *Agaricus olearius*, der zwischen dem Wurzelwerke der Obäume wächst und seine goldgelben Sporenträger im Spätherbst ausbildet, bemerkt man wenigstens das Leuchten ebensowohl bei trockenem Wetter wie in feuchter Luft nach einem Regentage. Sobald die Lufttemperatur unter 3° herabsinkt, hört das Leuchten sogleich auf; am schönsten dagegen zeigt sich die Lichterscheinung bei 8—10°; bei höheren Temperaturgraden nimmt sie nicht weiter zu, sondern allmählich wieder ab. Die Entziehung des Sauerstoffes der Luft hat sofort ein Verschwinden der Lichterscheinung

im Gefolge. Sobald aber die atmosphärische Luft neuerdings Zutritt erhält, stellt sich auch das Leuchten wieder ein. Die absterbenden Blätterschwämme leuchten immer schwächer und schwächer; mit dem Leben erlischt auch ihr Leuchten. Noch ist zu bemerken, daß nicht nur bei Blätterschwämmen mit leuchtendem Sporenlager, sondern auch bei solchen mit leuchtendem Myzelium das Leuchten sowohl bei Nacht als am Tage stattfindet. Nur wird es am hellen Tag im Freien nicht gesehen; sobald man aber das betreffende Gebilde in einen dunkeln Raum bringt, kann die Lichterscheinung auch während der Tageszeit beobachtet werden. Infolge von Besonnung während des Tages wird das Leuchten in der darauffolgenden Nacht nicht verstärkt, und die Erscheinung hat daher mit jenem eigentümlichen Phosphoreszieren, welches der am Tage der Sonne ausgesetzte Flußspat in der nächsten Nacht zeigt, nichts gemein. Außer an modernem Holz hat man auch bei verwesenden Blättern des Waldbodens ein schwächeres, von Mikroorganismen verursachtes Leuchten beobachtet.

Das Leuchten aller dieser Organismen findet immer nur in dem lebendigen Protoplasma statt, es handelt sich nicht um eine von den Bakterien und Pilzen ausgeschiedene leuchtende Substanz. Die Abhängigkeit der Erscheinung vom Sauerstoffzutritt legte die Annahme nahe, das Leuchten als eine Atmungserscheinung anzusehen. Andere Forscher sind der Meinung, daß es sich nicht um Atmung handle, sondern daß in der leuchtenden Zelle ein Stoff gebildet werde, der bei Sauerstoffzutritt zu leuchten beginne.

Nun gibt es zwar organische Stoffe, welche in alkalischer Lösung bei Zutritt von aktivem Sauerstoff zu leuchten beginnen. Aber man darf deshalb noch nicht ohne weiteres annehmen, daß sich solche Stoffe in den genannten leuchtenden Pflanzen bilden, und daß dann der eingeatmete Sauerstoff die Lichterscheinung veranlaßt. Bis jetzt ist es nicht gelungen, einen solchen Leuchtstoff in den Zellen nachzuweisen. Die Leuchtbakterien überziehen nur die Oberfläche des leuchtenden Fleisches und der Fische, eine frische Schnittfläche leuchtet nicht. Taucht man leuchtendes Fleisch in siedendes Wasser, so hört sein Leuchten auf, da die Bakterien getötet werden. Die Leuchtbakterien lassen sich auf Gelatine kultivieren, und es lassen sich dann mit ihnen interessante Versuche anstellen. So wirkt Bakterienlicht auf die photographische Platte, und man kann damit bei 14—15stündiger Belichtungszeit scharfe Bilder von Gegenständen erhalten.

Über den Vorteil, den das Leuchten für die Pflanze selbst hat, kann man nur Mutmaßungen aussprechen, denn es ist nicht gesagt, daß alle Erscheinungen des Lebens einem bestimmten Nutzen dienen. Bei den Leuchtbakterien ist gar kein Nutzen ihrer Leuchtkraft zu erkennen. Bei den leuchtenden Hutpilzen wäre es möglich, daß den Pilzmücken und Pilzkäfern, welche ihre Eier in die Myzelien und Sporenträger der Hymenomyzeten legen, und dabei deren Sporen verbreiten, in der dunkeln Nacht der Weg gezeigt wird. Mehrere dieser Mücken und Käferchen fliegen bei Nacht und wenden sich, wie so viele geflügelte Nachttiere, bei ihrem Fluge leuchtenden Gegenständen zu. Es wäre nun immerhin möglich, daß das von den genannten Blätterschwämmen ausgehende Licht als Anlockungsmittel und Wegweiser für die genannten in der Nacht fliegenden Insekten dient, ähnlich wie der Duft und die lebhaftere Farbe anderer Hymenomyzeten für Pilzfliegen und Pilzkäfer, welche am hellen Tage schwärmen. Aber auch bei dieser Annahme ist Vorsicht nötig, da sie auch falsch sein kann. Physiologisch ist das Leuchten zunächst eine Erscheinung, die notwendig aus den Stoffwechselvorgängen der leuchtenden Pflanze folgt und deren Zweck nur durch genaue Beobachtung erkannt werden kann.

3. Gärungen.

Die Gewinnung von Betriebsenergie für Stoffwechsel- und Entwicklungsvorgänge durch Atmung ist mit Stoffverlust verbunden. Bei größeren Pflanzen, besonders den mit Chlorophyll begabten, die diesen Verlust leicht ersetzen können, kann derselbe keine nachteiligen Folgen haben. Stellt man sich jedoch mikroskopische Pflanzen ohne Chlorophyll vor, deren Körpersubstanz kaum wägbare ist, so erscheint hier jeder Verlust unerwünscht. Wären solche Pflanzen in stande, statt von ihrer Körpermasse etwas zu oxydieren, Substanzen, die sie von außen aufnehmen, chemisch so zu spalten, daß dabei ein Energieüberschuß bliebe, so wäre das eine treffliche Ökonomie. Es mußte nun auffallen, daß in der Tat viele der kleinsten Organismen, die Bakterien und Hefepilze, sich dadurch auszeichnen, daß sie die verschiedensten chemischen Zersetzung in den Substraten, auf denen sie wachsen, hervorrufen, Zersetzungen, die man wegen gewisser äußerer Übereinstimmungen als Gärungen bezeichnet. Diese Gärungen, von denen die alkoholliefernde Gärung des Zuckers in der Wein- und Bierbereitung seit alten Zeiten eine praktische Bedeutung gehabt hat, sind nach dem Stande heutiger Forschung als Vorgänge des Energiegewinnes anzusehen und der Atmung in dieser Beziehung gleichzustellen. In ihrem chemischen Verlauf dagegen sind die Gärungen von der Atmung der höheren Pflanzen und auch unter sich sehr verschieden. Es wird dabei meistens kein Luftsauerstoff aufgenommen, und es entstehen andere und mannigfaltige Produkte. Man pflegt die Gärungen nach den entstehenden Hauptprodukten als Essiggärung, Alkoholgärung, Butter säure-, Milchsäuregärung, Farbstoffgärung usw. zu bezeichnen.

Die verschiedenen Arten der Hefepilze, die man auch Saccharomyzeten nennt, werden aus kugelförmigen oder ellipsoidischen Zellen gebildet, welche bei weitem größer sind als die Zellen der Spaltpilze und sich auch in einer wesentlich anderen Weise vermehren. Die Vermehrung erfolgt nämlich bei ihnen durch Sprossung, d. h. es entstehen an der Oberfläche der Zellen kolbenförmige Ausstülpungen, die sich rasch vergrößern, so daß jede Ausstülpung in kürzester Zeit der Zelle, aus der sie hervorsproßt, gleichkommt. Die so gebildete Tochterzelle trennt sich von der Mutterzelle ab und kann nun selbst wieder durch Sprossung Tochterzellen erzeugen. Mitunter bleiben mehrere aufeinanderfolgende Sprossungen unter sich verbunden und bilden dann Kolonien, welche in ihrer Gruppierung einigermaßen an die Feigenkaktus oder Opuntien erinnern (s. nebenstehende Abbildung). Die Hefe veranlaßt alkoholische Gärung. Durch ihre Zellen wird Traubenzucker in Alkohol und Kohlendioxyd gespalten, wobei auch noch geringe Mengen von Bernsteinsäure und Glycerin entstehen. In lebenden Pflanzen in der freien Natur tritt diese Gärung niemals auffällig hervor; desto wichtiger wird sie bei der im großen künstlich betriebenen Erzeugung alkoholischer Getränke aus Trauben und anderen Früchten sowie aus Traubenzucker, den man aus stärkehaltigen Samen, Knollen und Wurzeln gewonnen hat, also beispielsweise bei der Bereitung von Wein, Cider, Bier, Branntwein, Pulque, Rum und dergleichen mehr. Auch bei Bereitung des Brotes und verschiedener anderer Gebäcke sind die Hefezellen als Gärungserreger beteiligt. Der Teig, den man durch Anrühren des Mehles mit Wasser erzeugt, enthält Dextrin und Zucker, welche aus der Stärke des Mehles hervorgegangen sind. Dieser Teig wird mit Hefe oder mit Sauerteig (Teig, der von früherem Gebäcke zurückgeblieben ist und Hefezellen enthält) versetzt. Der Alkohol bleibt zunächst im Teige zurück, das Kohlendioxyd sucht zu entweichen, wird aber gleichfalls

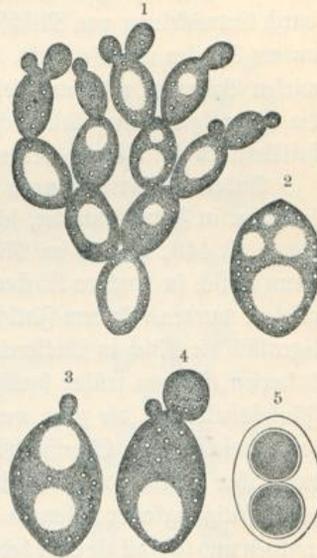
zuerst im Teige zurückgehalten und bildet in demselben Blasen, die auch späterhin in dem fertigen Gebäck noch als größere und kleinere Hohlräume sichtbar sind. So wird der fertige Teig lockerer und dadurch leichter verdaulich. Es steht fest, daß nur lebende Hefe Gärung hervorzurufen kann, und diese also wie die Atmung ein Lebensvorgang ist. Aber man war lange im unklaren, wie die Hefezellen es fertig bringen, den aus der Gärflüssigkeit aufgenommenen Zucker in Alkohol, Kohlensäure, Milchsäure und andere Nebenprodukte zu spalten. Vor einer Reihe von Jahren erst ist es gelungen, aus der lebenden Hefe ein Enzym, die Zymase, zu gewinnen, welches in Zuckerlösungen Gärung erregen kann. Man ist also der Ansicht, daß das Protoplasma der Hefezellen diese Zymase erzeugt, welche auf noch unerklärte Weise die Zuckermoleküle spaltet.

Ganz anders als die Hefegärung nehmen sich die Bakteriengärungen aus. Sie sind nicht an Zuckerlösungen gebunden wie die Hefe, sondern erzeugen auf den verschiedensten Substraten, wie Milch, Eiweißstoffen und Gelatine, auffallende chemische Zersetzen.

Die Bakterien (Spaltpilze) zählen zu den kleinsten Lebewesen. Die größten Formen haben einen Durchmesser von $\frac{1}{500}$, die kleinsten von ungefähr $\frac{1}{2000}$ mm. Was ihnen an Größe abgeht, ersetzen sie aber durch die ungeheure Zahl der Individuen, und diese wird wieder bedingt durch die Raschheit, mit welcher die Vermehrung stattfindet. Man hat beobachtet, daß in Flüssigkeiten, deren chemische Zusammensetzung und Temperatur den Spaltpilzen zusagt, innerhalb 20 Minuten eine Zelle so weit heranwächst, um sich in zwei teilen oder spalten zu können, und berechnet, daß aus einer einzigen Zelle binnen 8 Stunden über 16 Millionen und binnen 24 Stunden viele Milliarden solcher Zellen entstehen können. Die Fähigkeit, sich so rasch zu vermehren, verleiht den Spaltpilzen die Fähigkeit, scheinbar plötzlich aufzutreten.

Die Vermehrung kann nur auf Kosten der Flüssigkeit und überhaupt des Nährbodens stattfinden, in dem diese Mikroorganismen leben. Allein das Merkwürdige ist, daß sie sich nicht damit begnügen, dem Nährboden so viel Stoff zu entnehmen, als sie für den Aufbau ihrer winzigen Zellen brauchen, sondern daß sie große Mengen dieses Nährbodens in Substanzen umwandeln, die sie nicht zur Existenz benutzen und auch gar nicht benutzen können.

Die winzigen Bakterien sind gar merkwürdige Chemiker, die die verschiedensten Dinge fertig bringen, aber ohne Laboratorium, ohne Reagenzien und hohe Temperaturen. Sie können manchmal mehr leisten als der Chemiker, und wir lassen sie daher zu den verschiedensten Zwecken für uns arbeiten. Die Essigsäure ist ein Oxydationsprodukt des Äthylalkohols. Der Chemiker kann unter Zuhilfenahme von Platinmoor den Alkohol durch den Sauerstoff der Luft oxydieren, er kann auch Oxydationsmittel anwenden, aber diese Methoden sind nicht wirtschaftlich, daher destilliert er zur Gewinnung von Essigsäure essigsaures Natron mit Schwefelsäure. Die Essigbakterien (*Bacterium aceti*; s. Abbildung, S. 443, Fig. 3 und 4) verstehen es, in Berührung mit Alkohol ihn ohne weiteres zu oxydieren und in Essigsäure umzuwandeln. Da verdünnte Essigsäure, Essig, im Haushalt in Menge gebraucht wird, so läßt man sie gleich



Hefepilze: 1—4 sprossende Hefe (*Saccharomyces cerevisiae*), 5 Sporenbildung in einer schlauchförmigen Zelle von *Saccharomyces cerevisiae*. 1000fach vergrößert. (Zu S. 440.)

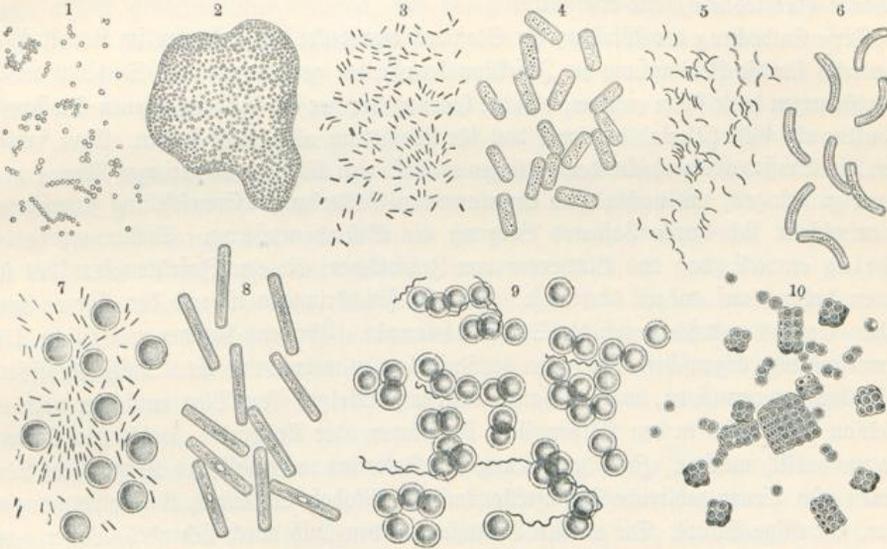
diesen bereiten. Das geschieht durch die Schnelleßigfabrikation, wobei man verdünnten Spiritus langsam über Sägespäne, die in einem großen Bottich aufgehäuft sind, träufeln läßt. Durch Zusatz von altem Essig bringt man die Essigbakterien hinein, die sich auf den Hobelspänen ausbreiten und ihre Tätigkeit beginnen. Der oben aufsteigende Spiritus ist, unten im Faß angelangt, zu Essig geworden und kann abgezogen werden. Die Benutzung der Milchsäurebakterien zur Erzielung von saurer Milch, von Sauerkraut und sauren Gurken ist bekannt. Keime der Bakterien finden sich in jeder Milch. Läßt man diese bei günstiger Temperatur stehen, so bilden die Bakterien aus dem Milchzucker Milchsäure, welche das Kasein ausfällt und die Gerinnung herbeiführt. Der saure Geschmack der anderen genannten Speisen wird ebenfalls durch Entwicklung von Milchsäurebakterien hervorgerufen. Sie verderben aber auch häufig andere Speisen und Getränke, die dann sauer und ungenießbar werden. Bei der Käsebereitung wirken Bakterien mit, und jedes Gramm fertigen Käses enthält noch Millionen Bakterien, die wir mitgenießen; allein Schaden können sie nicht anrichten, da sie sich nicht wie die Krankheitsbazillen im Körper weiter entwickeln, sondern im saueren Magensaft zugrunde gehen.

Andere Bakterien können Farbstoffe erzeugen, und von diesen hat der auf Brot, Kartoffeln usw. in Form blutroter, schleimiger Tropfen auftretende *Bacillus prodigiosus* (s. Abbildung, S. 443, Fig. 1) im Mittelalter zum schlimmsten Aberglauben Veranlassung gegeben, wenn er sich in feuchten Kirchenräumen auf Hostien zeigte, die dann als blutende Hostien angesehen wurden. Andere Farbstoffbakterien erzeugen indigoblaue Farbstoffe und verderben gelegentlich die Milch in Molkereien. Über die Stickstoffbakterien, Leuchtbakterien und Schwefelbakterien ist schon früher berichtet worden. Am verbreitetsten sind die zahlreichen Formen der Fäulnisbakterien, die zwar wenig Anziehendes in ihrer Tätigkeit besitzen und bei Zersetzung der schwefelhaltigen Eiweißsubstanzen das übelriechende Schwefelwasserstoffgas erzeugen, aber durch ihre zerstörende Tätigkeit segensreich wirken, denn sie nehmen den größten Anteil an der Beseitigung aller Pflanzen- und Tierleichen, die ohne ihre Mitwirkung einfach zusammen trocknen und überall die Erde bedecken würden. Die Fäulnisbakterien aber bilden aus diesen Substraten meist flüssige Stoffe, die in den Boden sickern und verschwinden. Zuweilen dienen sie auch dem Feinschmecker, da sie den von manchen geschätzten Wildgeschmack des Fleisches veranlassen.

Wir sehen, daß die Bakterien die verschiedensten zucker- und eiweißhaltigen Substrate zersetzen. Nun ist aber das Blut mit seinen eiweißartigen Verbindungen und seinen Kohlenhydraten ein äußerst günstiger Nährboden für sie, auch die Temperatur des Blutes des Menschen und der Säugetiere (35—37°) könnte für die Entwicklung der Spaltpilze nicht günstiger sein, und so wird es begreiflich, daß eine einzige in das Blut gelangte schmarotzende Spaltpilzelle der Ausgangspunkt für eine Anzahl gleicher Zellen werden kann, welche in verhältnismäßig kurzer Zeit die ganze Blutmasse zu verändern und zu zersetzen vermögen. Bei ihrer außerordentlichen Kleinheit können die Spaltpilze an zahlreichen Stellen in die Strombahn des Blutes von außen her eindringen, jede verletzte Stelle, jeder Nadelstich, jede Wundfläche kann zur Einfallspforte werden, auch durch alle Mündungen von Kanälen menschlicher und tierischer Körper, vor allem durch die Mündungen der Atmungsorgane können die Spaltpilze einwandern, in die feinsten Blutgefäße, die sogenannten Kapillaren, eindringen und so in den Blutkreislauf gelangen.

Daß zahlreiche Erkrankungen des Menschen und der Tiere durch Spaltpilze veranlaßt werden, ist nachgerade außer Frage gestellt. Daß Blattern, Scharlach, Diphtherie, Rotlauf, Rogkrankheit, Lepra, Pest, Milzbrand, Tuberkulose, Typhus, Cholera, Märsen durch

Spaltpilze veranlaßt werden, hat die Bakteriologie festgestellt. Früher nannte man die ansteckende Ursache, von deren Wesenheit man aber nur ganz unklare Vorstellungen hatte, *Kontagium* und *Miasma*. Die Erscheinungen an den durch Ansteckung erkrankten Organismen lassen aber auf eine Verschiedenheit der durch die schmarozenden Spaltpilze veranlaßten Zersetzungen schließen, und man sieht daher die Krankheitserreger als verschiedene, besondere Arten an. Durch eine bestimmte Art schmarozender Zellen kann in der gleichen Flüssigkeit immer nur dieselbe Zersetzung eingeleitet werden. Wenn daher die Spaltungs- oder Zersetzungsprodukte in ein und derselben Flüssigkeit sich anders darstellen, so kann das wohl nur auf eine Verschiedenheit der schmarozenden Zellen zurückgeführt werden, obwohl es oft sehr



Spaltpilze: 1 *Bacillus prodigiosus*, 2 Zooglybform desselben; 3 und 4 *Bacterium aceti*, bei schwächerer und stärkerer Vergrößerung; 5 und 6 *Spirillum Cholerae asiaticae*, bei schwächerer und stärkerer Vergrößerung; 7 und 8 *Bacterium (Bacillus) Anthracis*, bei schwächerer und stärkerer Vergrößerung; 9 *Spirochaete Obermeieri*; 10 *Sarcina ventriculi*. — In den Figuren 7 und 9 sind auch die Blutkörperchen dargestellt, um die Größe der im Blute lebenden Spaltpilze abschätzen zu können. Fig. 1, 2, 3, 5, 7, 9: 300fach, Fig. 4, 6, 8: 2200fach, Fig. 10: 1800fach vergrößert.

schwer ist, diese einfachen Formen an ihrer Gestalt zu unterscheiden. Die Medizin ist der Ansicht, daß jede eigenartige ansteckende Krankheit, soweit sie als Bakterienkrankheit erkannt ist, auch durch eine eigene Art Spaltpilze veranlaßt wird.

Die Mehrzahl der Spaltpilze, welche als Erreger von Krankheiten bei Mensch und Tier angesehen werden, sind übrigens sehr deutlich schon durch die Form ihrer Zellen voneinander zu unterscheiden. So erscheint die Bakterie, welche die Diphtherie veranlaßt, *Micrococcus diphthericus*, in Gestalt winziger sphärischer, dicht gehäufter Zellen, jene, welche als Ursache des Milzbrandes erkannt wurde, *Bacterium Anthracis* (s. obenstehende Abbildung, Fig. 7 und 8), als gerade, stäbchenförmige, unbewegliche Zelle; beim Rückfalltyphus findet man während des Fieberanfalles im Blute des infizierten Menschen fadenförmige, schraubig gedrehte, unendlich zarte, sich lebhaft bewegende Gebilde: *Spirochaete Obermeieri* (Fig. 9), im Darne der an Cholera Erkrankten die vielbesprochenen Kommaabazillen: *Spirillum Cholerae asiaticae* (Fig. 5 und 6), und im Magen der an Pyrosis Erkrankten das Paketbakterium *Sarcina ventriculi* (Fig. 10).

Der Zusammenhang der Krankheiten mit den Bakterien wird durch die Möglichkeit der Übertragung von Krankheiten durch Impfung bewiesen. Wenn solche Überimpfung durch Zufall geschieht, so nennt man sie Ansteckung oder Infektion, und deshalb die Bakterienkrankheiten Infektionskrankheiten. Die Kenntnis dieser Krankheitserreger (der pathogenen Bakterien) ist besonders durch die Reinkulturen auf Gelatinenährboden, welche Pasteur und Robert Koch einführten, gefördert worden, und diese Methodik hat sich zu einer besonderen Wissenschaft, der Bakteriologie, entwickelt. Die krankmachende Wirkung der Bakterien beruht nur selten auf ihrer massenhaften Entwicklung in den Blutgefäßen, sondern darauf, daß sie im Blut, ähnlich wie die Gärungserreger, chemische Spaltungen veranlassen und dabei krankmachende oder tödliche Gifte erzeugen.

Diese Entdeckung der Wirkung der Stoffwechselprodukte der Bakterien im Körper ist sehr folgenreich für die Bekämpfung der Infektionskrankheiten geworden. Das Studium der Bakteriengärungen hatte schon ergeben, daß die Gärungserreger sich in ihren eigenen Stoffwechselprodukten ein Gift (Toxin) bereiten, das ihr Wachstum allmählich hemmt. Man faßte die Idee, die Stoffwechselprodukte der pathogenen Bakterien künstlich in geringer Menge in den Körper zu bringen, um nachträglich eindringenden Bakterien die Entwicklung zu erschweren. So entwickelte sich durch Pasteurs Vorgang die Schutzimpfung. Später wurde durch Behring entdeckt, daß das Blutserum von Individuen, die eine Infektionskrankheit überstanden haben, auf andere überimpft, ebenfalls schutzbringend ist und den Körper immun macht. Daraus entwickelte sich die Serumtherapie. Übrigens hat der menschliche Körper die merkwürdige Eigenschaft, sich gegen die Infektion zu wehren und die Krankheitsstoffe unter Umständen zu vernichten, worauf dann Genesung erfolgt. Im Blut entstehen nach einer Infektion Gegengifte in den Körperzellen, Antikörper oder Antitoxine, welche die Bakteriengifte unschädlich machen. Zur Vernichtung der Bakterien außerhalb des Körpers, in Wohnräumen usw. dienen zahlreiche Desinfektionsmittel: Alkohol, Sublimat, Kaliumpermanganat, Chlor, schweflige Säure. Die meisten Bakterien werden auch durch siedendes Wasser getötet, und heißer Dampf ist das einfachste Desinfektionsmittel für Sterilisation im großen, z. B. bei Eisenbahnwagen. Durch den englischen Chirurgen J. Lister wurde die Antisepsis, d. h. die Anwendung von Desinfektionsmitteln, bei der Wundbehandlung eingeführt.

4. Die Bedeutung der Wärme für die Pflanze.

Der Physiolog, der durch Beobachtung und Experiment die Abhängigkeit der einzelnen Lebensbedingungen von den äußeren Bedingungen feststellt, wird bald auf die Notwendigkeit gewisser Temperaturgrade aufmerksam, ohne welche die Lebenserscheinungen überhaupt nicht flott verlaufen. Die früher geschilderte Bewegung der Protoplasten, die Bewegung der Blätter, die geotropischen und anderen Reizbewegungen verlangen ein günstiges Temperaturmaß. Aber auch wenn wir, wie es in diesem Buche geschehen ist, die Pflanze als eine unteilbare Erscheinung betrachten, ergibt die Erfahrung bald, daß ihre ganze Entwicklung abhängig ist von dem Wärmezustand der Umgebung, der auch auf den Organismus übertragen wird. Für alle Entwicklung ist Wärme nötig, so viel Wärme, daß die Organe und ihre Gewebe leistungsfähig bleiben können. Wenn in den gemäßigten Zonen, in denen sich das Jahr in

Frühling, Sommer, Herbst und Winter teilt, der Sommer zur Reife geht und die Tage kürzer und kürzer werden, wenn im Laufe der langen Nächte der Boden mehr Wärme durch Strahlung verliert, als ihm im Laufe des Tages zugeführt wird, und wenn dann auch die Pflanzen selbst stark erkalten, hört das Wachstum oberirdisch völlig auf, und die ganze Tätigkeit der Gewächse beschränkt sich darauf, sich für die Winterszeit einzupuppen, die Stoffe, welche noch in der nächsten Vegetationsperiode verwendbar sind, aus dem sommergrünen Laube zurückzuziehen und in geschützten Borratskammern unterzubringen. Den Winter hindurch ruhen dann die gegen den Frost nicht geschützten, erkalteten Teile, und das Wachstum ist in ihnen vollständig unterbrochen. Endlich ist der Winter vorüber; der letzte Schnee hat sich unter dem Hauche milder Frühlingslüfte verloren, das hartgefrorene Erdbreich ist von den Banden des Frostes befreit. Allermwärts regt sich erneutes Leben; die Knospen schwellen, die Bäume schmücken sich mit Blüten und frischem Laube, die Fluren ergrünen, die Samen keimen, und die Saaten auf den Feldern sprießen zur Freude des Landmannes kräftig empor. An warmen, sonnigen Frühlingstagen wächst alles mit erstaunlicher Schnelligkeit, an kühlen, trüben Tagen ist der Zuwachs nur gering. Kommt dann gelegentlich einmal ein Rückschlag, und sinkt die Temperatur wieder tief herab, so steht das Wachstum wohl auch ganz still. Man hat gefunden, daß der Zuwachs junger krautiger Pflanzen an zwei aufeinanderfolgenden Tagen infolge eines plötzlichen Wettersturzes und plötzlich eintretender Kälte von 8 cm auf $\frac{1}{2}$ cm herabgesunken war. Niemand zweifelt, daß solches Nachlassen des Wachstums mit dem Sinken der Temperatur im ursächlichen Zusammenhange steht, so wie ja auch das rasche Wachstum auf Rechnung der raschen Wärmezunahme gebracht wird, wobei selbstverständlich immer vorausgesetzt wird, daß der andere, früher besprochene Factor des Wachstums, nämlich das Wasser, in genügender Menge vorhanden ist.

Woher beziehen die Pflanzen die zu ihrer Entwicklung nötige Wärme? Bei Erwägung dieser Frage mag man zunächst an jene Wärme denken, welche in der Pflanze selbst bei der Atmung frei wird, und die nicht nur bei der Stoffwandlung und Stoffwanderung, sondern auch beim Wachstum sofort nach ihrer Entbindung wieder Verwendung finden kann. Die Wärme, welche bei der Atmung einer Pflanze entbunden wird, ist eigentlich nur der Sonnenstrahl, den diese Pflanze bei einer anderen Gelegenheit eingefangen hat, und in letzter Linie stammt alle Wärme, insoweit sie für das Leben der Pflanze in Betracht kommt, von der Sonne. Auch die Wärme, welche durch Leitung aus dem Boden, dem Wasser und der Luft in die Pflanzen gelangt, nimmt ihren Ursprung aus der Sonne, und diese ist es also, welche als Urquell aller von den Pflanzen verbrauchten Wärme anzusehen ist.

Man hat gefunden, daß die Sonne dreierlei Strahlengattungen aussendet, welche sich durch ihre verschiedene Schwingungsdauer unterscheiden, und die man als Wärmestrahlen, Lichtstrahlen und chemische Strahlen unterscheidet. Diese dreierlei schwingenden Bewegungen des Äthers beirren sich auf ihrem Wege so wenig wie Wellenkreise, die sich auf einer Wasseroberfläche kreuzen. Wir erkennen und messen sie an ihren Wirkungen. Sobald sie einen Körper treffen, wird von der lebendigen Kraft dieser Ätherwellen Arbeit geleistet, die wir uns als Bewegung der Moleküle und Atome des getroffenen Körpers denken, und welche entweder als Wärme oder Licht oder chemische Umsetzung in Erscheinung tritt. Es ist aber überaus merkwürdig, daß in der Pflanzenwelt nur jene Bewegung, die wir als Wärme auffassen, das Wachstum veranlassen kann. Jene Schwingungen, welche das Licht bilden, und deren große Bedeutung für die Bildung der Baustoffe und überhaupt der organischen Verbindungen aus

unorganischer Nahrung früher eingehend besprochen wurde, vermögen einen solchen Effekt nicht hervorzubringen, wenigstens nicht unmittelbar; ja, es liegen Anhaltspunkte vor, welche zu der Annahme berechtigen, daß das Wachstum durch Licht sogar beschränkt und gehindert wird. So viel ist gewiß, daß das Wachstum unter Abschluß des Lichtes in tiefster Dunkelheit vor sich gehen kann, wenn nur die beiden Faktoren Turgor und Wärme keine Einschränkung erfahren. Die meisten Samen und Sporen keimen im Dunkeln, die Zellen der unterirdischen Stengel und Niederblätter, die der tief unter der Erde gebetteten Wurzeln sowie die Myzelien der Schwämme wachsen, auch wenn sie dem Lichte völlig entzogen sind. Auch Pflanzenteile, welche aus lichten in dunkle Räume gebracht werden, wachsen dort fort, immer vorausgesetzt, daß ihnen an der dunkeln Stelle das nötige Maß von Feuchtigkeit und Wärme zukommt.

Zuweilen können sich Pflanzen, namentlich solche mit fleischigen Blättern, wie *Echeveria* und andere, in der Sonnennähe bis zur Lebensgrenze erwärmen. Im allgemeinen aber erwärmen sich die Organe höchstens eben über die Lufttemperatur, schon weil ihre Transpiration wieder eine Ursache des Wärmeverlustes ist. Es ist daher auch kaum anzunehmen, daß die Pflanzen die von außen zugeführte Wärme als Energiequelle benutzen. Höhere Temperatur setzt offenbar die Protoplasten in den Zustand stärkerer Lebensbetätigung und fördert deshalb unter Umständen ein Gedeihen, weil sie zunächst bloß auf die einzelnen Organe wirkt. Z. B. kann die Erwärmung des Bodens die bis dahin wegen ungenügender Erwärmung ruhende Wurzel-tätigkeit, d. h. die Wasseraufnahme, antregen und dadurch auch das Wachstum der oberirdischen Organe in Bewegung bringen, ohne daß diesen selbst größere Wärmemengen zugeflossen wären. Die Physiologie hat die Verhältnisse der Pflanze zur Wärme noch so wenig durchdringen können, daß wir über ihre Wichtigkeit zunächst vorwiegend durch die bloße Anschauung belehrt werden. Ist doch schon der große Unterschied der Pflanzenformen und der Pflanzenentwicklung in kalten und warmen Ländern außerordentlich in die Augen fallend. Aber auch in ein und demselben klimatischen Gebiet scheint die periodische Entwicklung, wie wir sie z. B. bei uns innerhalb eines Jahres so deutlich verfolgen können, in auffallender Weise von der Temperatur abzuhängen. Man glaubte daher den Versuch machen zu können, unter Absehen von den übrigen äußeren Bedingungen den jährlichen Entwicklungsgang auf die Temperatur zu beziehen, und hat diesen Zweig der Wissenschaft als Pflanzenphänologie bezeichnet. Wir wollen in folgendem ohne Voreingenommenheit prüfen, welche Sicherheit die Methode der Phänologie gewähren kann.

Die Berechnung der zur Entwicklung nötigen Wärme (Phänologie).

Nach der zur Erklärung zahlreicher Lebenserscheinungen mit bestem Erfolge herangezogenen mechanischen Wärmetheorie kann jede Bewegung in Wärme verwandelt und durch Wärme gemessen werden. Sollte es nicht möglich sein, diesen Grundsatz auch auf die Pflanzenwelt, zumal auf die Erscheinungen der Entwicklung und des Wachstums, in Anwendung zu bringen, sollte es nicht möglich sein, festzustellen, wieviel Wärme die Pflanze zu jeder ihrer Arbeiten in einem bestimmten Zeitraume verbraucht, und danach ihr Wärmebedürfnis als eine konstante Größe ziffermäßig festzustellen? Diese Frage wurde oftmals gestellt, und es fehlt auch nicht an Versuchen, dieselbe zu beantworten. Es wäre ja nicht nur von theoretischem, sondern auch von großem praktischen Werte, zu wissen, wieviel Wärme unsere Forstbäume,

unsere Getreidearten und andere Nutzpflanzen zum Abschluß ihres jährlichen Lebenszyklus bedürfen, zu wissen, wieviel Wärme notwendig ist, damit die Samen dieses oder jenes Kulturgewächses keimen, die aufgekeimten Pflanzen zum Blühen kommen und endlich wieviel keimfähige, vollwichtige Samen aus den Blüten hervorgehen. Könnte man diese Wärmemengen, welche man thermische Vegetationskonstanten nennen würde, feststellen, so würde sich auch für jeden Ort aus den dort herrschenden Wärmeverhältnissen im vornhinein berechnen lassen, ob diese oder jene Pflanzenarten noch fortkommen, ob sie noch reife Früchte bringen können, und ob ihr Anbau ein vorteilhafter und empfehlenswerter ist oder nicht.

Die in der angeedeuteten Richtung bisher gewonnenen Resultate lassen freilich noch sehr viel zu wünschen übrig, sind aber doch von Interesse, so daß sie hier nicht mit Stillschweigen übergangen werden dürfen. Was zunächst die ersten Wachstumsvorgänge, die Keimung von Sporen und Samen, anlangt, so hat sich durch Versuche herausgestellt, daß nicht wenige Arten schon bei sehr niederen Temperaturen zu keimen vermögen. Die Samen des weißen Senfes, des Hanfes, des Weizens und Roggens, des Spizahorns und des Ackerweilchens keimen schon bei einer Temperatur, welche dem Eispunkte sehr nahe steht, zwischen 0 und 1°; andere, wie die Gartenkresse, der Lein, Spinat, die Zwiebel, der Mohn, die Zuckerrüben und das englische Raigras, keimen bei Temperaturen zwischen 1 und 5°; Fisoln, Esparsette, Rispenhirse, Mais, Sonnenblumen bei Temperaturen zwischen 5 und 11°; Paradiesapfel, Tabak, Kürbis bei Temperaturen zwischen 11 und 16°; Gurken, Melonen und Kakaobohnen erst über 16°. Das ist so zu verstehen, daß die Melonensamen, wenn sie in eine feuchte Erde gelegt werden, deren Temperatur unter 15° liegt, zwar Feuchtigkeit einsaugen und anschwellen, daß sich aber in den Zellen des Embryos bei dieser Temperatur noch nicht jene Veränderungen vollziehen, welche als Wachstum zu gelten haben. Erst wenn die Temperatur des Keimbettes über 15° steigt, streckt sich der Embryo und schiebt sich das Würzelchen aus den Samenhüllen vor. Alle diese Zahlen würden aber für sich allein nur ein sehr unvollkommenes Bild von den Wärmebedürfnissen der keimenden Samen geben, wenn nicht auch ermittelt würde, wie lange der Same den angegebenen Temperaturen ausgesetzt sein muß, damit sich sein Embryo vergrößert und auswächst. Wenn man ein Hühnerei nur zwei oder drei Tage einer Temperatur von 35—40° aussetzt, so wird dasselbe nicht ausgebrütet; nur dann, wenn es sich 20—21 Tage hindurch unter dem Einflusse dieser konstanten Temperatur befindet, kann das Ei ausgebrütet werden. Wie aus der folgenden Tabelle hervorgeht, verhält es sich mit den Pflanzensamen nicht anders. Die Tabelle läßt auch erkennen, welche Samen höhere Temperatur zur Keimung bedürfen und welche mit niederer auskommen.

Es keimten bei einer konstanten Temperatur von	die Samen von	in Tagen	Es keimten bei einer konstanten Temperatur von	die Samen von	in Tagen
4,6°	Leindotter	4	10,5°	Vibernell	10
	Erbjen	5		Mais	11
	Spinat	9		Rispen-Mohrhirse	13
	Mohn	10		Rümmel	16
	Zuckerrüben	22		Sonnenblumen	25
10,5°	Mohar	24	15,6°	Paradiesapfel	6
	Fisoln	3		Tabak	9
	Lieschgras	6		18,5°	Gurken
Esparsette	7	Melonen	17		

Wenn man nun die Zahl der Tage mit der Temperatur multipliziert, so könnte das Produkt als eine empirische Formel für die zum Keimungsprozeß nötige Wärme angesehen werden. Es wird nun vorausgesetzt, daß dieses Produkt eine konstante Größe sei, und man nennt es die „thermische Konstante“. Es würde sich auf diese Weise für das Keimen der Samen des Leindotters die thermische Konstante 184, für den Mohn 460, für den Mais 1155 uſf. ergeben.

Bei diesen Berechnungen kommen selbstverständlich nur die konstanten Temperaturen des von den Sonnenstrahlen nicht direkt getroffenen Keimbettes in Betracht. Bei weitem verwickelter gestaltet sich die Sache, wenn es sich darum handelt, auch die Konstanten für andere Entwicklungsstufen der Pflanzen, für das Vorschieben des Laubes aus den Knospen, das Öffnen der ersten Blüten und das Reifen der ersten Früchte, festzustellen. Diese Wachstumserscheinungen finden nämlich bei den meisten im Freien stehenden Pflanzen nicht im Schatten, sondern in der Sonne statt. Auch ist an den Beobachtungsorten die Temperatur nicht konstant, sondern wechselt von Stunde zu Stunde, erreicht kurz vor Sonnenaufgang ihren niedrigsten und in den ersten Stunden des Nachmittags ihren höchsten Stand. Da nun die Erfahrung gezeigt hat, daß sich die Größe des Zuwachses vorzüglich nach der höchsten Temperatur in der Sonne richtet, so wurden zur Berechnung der Konstanten für die oben-erwähnten Wachstumsphänomene weder die Schattentemperaturen noch die Mitteltemperaturen, sondern die Angaben des der Sonne ausgesetzten Maximumthermometers benutzt. Man summierte, vom ersten Januar angefangen, die täglichen an einem der Sonne ausgesetzten Maximumthermometer abgelesenen Temperaturen bis zu dem Tag, an welchem an einem in nächster Nähe stehenden, von der Sonne beschienenen Pflanzenstocke die Laubblätter sich aus der Knospe vorschoben, die ersten Blüten sich entfalten und die ersten Samen reifen, und nahm die so gewonnenen Zahlen als Konstanten an.

Eine Auswahl aus den auf diesem Wege durch mehrjährige Beobachtungen im mittleren Deutschland (früher von Hoffmann in Gießen) gewonnenen Konstanten möge hier ihren Platz finden.

Konstanten für das Hervortreten der Laubblätter aus den Knospen.

Stachelbeere (<i>Ribes Grossularia</i>)	478°	Rotbuche (<i>Fagus silvatica</i>)	1439°
Haselnuß (<i>Corylus Avellana</i>)	1061°	Walnußbaum (<i>Juglans regia</i>)	1584°

Konstanten für die Entfaltung der ersten Blüten.

Haselnuß (<i>Corylus Avellana</i>)	226°	Koßkastanie (<i>Aesculus Hippocastanum</i>)	1708°
Seidelbast (<i>Daphne Mezereum</i>)	303°	Goldregen (<i>Cytisus Laburnum</i>)	1818°
Kornelrösche (<i>Cornus mas</i>)	576°	Fichte (<i>Abies excelsa</i>)	1904°
Apriose (<i>Prunus Armeniaca</i>)	843°	Schwarzer Holunder (<i>Sambucus nigra</i>)	2313°
Kellerhalsblättrige Weide (<i>Salix daphnoides</i>)	968°	Tulpenbaum (<i>Liriodendron tulipifera</i>)	2538°
Stachelbeere (<i>Ribes Grossularia</i>)	1138°	Weinstock (<i>Vitis vinifera</i>)	2878°
Vogelkirsche (<i>Prunus avium</i>)	1265°	Großblättrige Linde (<i>Tilia grandifolia</i>)	3033°
Apfelbaum (<i>Pirus Malus</i>)	1423°	Kleinblättrige Linde (<i>Tilia parvifolia</i>)	3274°
Stieleiche (<i>Quercus pedunculata</i>)	1556°	Kastanie (<i>Castanea sativa</i>)	3660°
Flieder (<i>Syringa vulgaris</i>)	1556°	Trompetenbaum (<i>Catalpa syringaeifolia</i>)	4275°
Walnußbaum (<i>Juglans regia</i>)	1584°	Herbstzeitlose (<i>Colchicum autumnale</i>)	5024°
Sauerdorn (<i>Berberis vulgaris</i>)	1615°	Efeu (<i>Hedera Helix</i>)	5910°

Konstanten für die Fruchtreife.

Gemeine Erdbeere (<i>Fragaria vesca</i>)	2671°	Stachelbeere (<i>Ribes Grossularia</i>)	3596°
Vogelkirsche (<i>Prunus avium</i>)	2778°	Eberesche (<i>Sorbus Aucuparia</i>)	4339°
Seidelbast (<i>Daphne Mezereum</i>)	2935°	Gerste (<i>Hordeum vulgare</i>)	4403°
Rote Johannisbeere (<i>Ribes rubrum</i>)	3069°	Apriose (<i>Prunus Armeniaca</i>)	4435°

Apfelbaum (<i>Pirus Malus</i>)	4730°	Pflaume (<i>Prunus domestica</i>)	5780°
Sauerdorn (<i>Berberis vulgaris</i>)	4765°	Weinstock (<i>Vitis vinifera</i>)	5780°
Schwarzer Holunder (<i>Sambucus nigra</i>)	4913°	Koßkastanie (<i>Aesculus Hippocastanum</i>)	6034°
Kornelkirsche (<i>Cornus mas</i>)	5416°	Stieleiche (<i>Quercus pedunculata</i>)	6236°

Konstanten für den Beginn des Laubfalles.

Traubenkirsche (<i>Prunus Padus</i>)	6179°	Haselnuß (<i>Corylus Avellana</i>)	6884°
Kleinblättrige Linde (<i>Tilia parvifolia</i>)	6644°	Stachelbeere (<i>Ribes Grossularia</i>)	6884°
Schwarzer Holunder (<i>Sambucus nigra</i>)	6644°	Kotbuche (<i>Fagus silvatica</i>)	6884°
Birnbaum (<i>Pirus communis</i>)	6788°	Weinstock (<i>Vitis vinifera</i>)	6913°
Walnußbaum (<i>Juglans regia</i>)	6816°	Stieleiche (<i>Quercus pedunculata</i>)	6979°
Trompetenbaum (<i>Catalpa syringaefolia</i>)	6816°	Apfelbaum (<i>Pirus Malus</i>)	6999°
Kellerhalsblättrige Weide (<i>Salix daphnoides</i>)	6838°	Kastanie (<i>Castanea sativa</i>)	7023°
Koßkastanie (<i>Aesculus Hippocastanum</i>)	6863°	Vogelkirsche (<i>Prunus avium</i>)	7023°

Berechnungen der an denselben Pflanzen, aber an anderen Orten und in verschiedenen Jahren ausgeführten Beobachtungen haben zwar annähernd die gleichen Zahlen ergeben, und es hat den Anschein, als ob diese Konstanten wirklich etwas Konstantes wären, aber das Vertrauen auf dieselben wird durch die nachfolgenden Betrachtungen einigermaßen herabgemindert.

Was zunächst das Keimen der Samen anlangt, so läßt sich aus verschiedenen Erscheinungen schließen, daß auf diesen Wachstumsvorgang neben der Temperatur des Keimbettes nicht zum wenigsten auch die bei der Atmung im Inneren der Samen frei werdende Wärme Einfluß hat. Samen, in deren Zellen das Protoplasma durch einen äußeren Anstoß, vielleicht durch ein Minimum strahlender oder geleiteter Wärme, einmal in raschere Bewegung versetzt worden ist, atmen ziemlich lebhaft. Dabei werden die in ihnen aufgespeicherten Reservestoffe verbrannt, und es wird so viel Wärme frei, daß nicht nur ein Auswachsen des Embryos ermöglicht ist, sondern daß auch noch Wärme an die Umgebung abgegeben werden kann. Man hat die Würzelchen keimender Horn- und Weizenfamen, die zufällig in Eiskeller gelangt waren, in die Eisblöcke hineinwachsen sehen, was nur dadurch geschehen konnte, daß die aus den Samenhüllen hervorbrechenden Würzelchen das Eis, mit dem sie in Berührung kamen, zum Schmelzen brachten und sich ähnlich wie die auf S. 433—435 beschriebenen und auf der Tafel bei S. 433 abgebildeten Blütenknospen der Soldanellen in die gebildete Höhlung einschoben. In vielen Fällen darf man demnach bezweifeln, daß das beim Keimen beobachtete Wachstum des Embryos nur auf Rechnung der gemessenen, den Samen aus der Umgebung zugekommenen Wärme zu setzen ist. Auch ist es zweifelhaft, ob die an dem Thermometer abgelesene, auf die Pflanze von außen eindringende Wärme nur zum Wachstum verwendet wird. Ein Teil derselben kann verbraucht werden, um den betreffenden Pflanzenteil am Leben zu erhalten, ein anderer Teil kann bei der Herstellung und bei der Wandlung und Wanderung der Baustoffe nutzbar sein, und nur der Restteil mag bei dem Wachstum eine Rolle spielen. Aber nicht genug an dem; es ist auch zweifelhaft, ob die auf die Pflanze von außen eindringende gemessene Wärme innerhalb des angegebenen Zeitraumes immer auch vollständig zu allen im Inneren der Pflanze sich abspielenden chemischen Umsetzungen und molekularen Umlagerungen verwertet wird, und ob nicht mitunter ein unbenutzter Überschuß vorhanden ist, der dann bei der Berechnung eigentlich abgezogen werden sollte. Es wird bei den Berechnungen stillschweigend vorausgesetzt, daß dann, wenn die Pflanze einer konstanten Temperatur von 20° zwölf Stunden lang ausgesetzt ist, die gesamte Wärme, welche das Quecksilber zwölf Stunden hindurch bis zu 20° auszu dehnen imstande

war, auch von der Pflanze verwertet wurde. Daß dem aber nicht immer so sei, zeigen die nachfolgenden Beobachtungen:

Es keimten die Samen des	ausgesetzt einer Temperatur von	in Stunden	daraus berechnete Konstante
Weißen Senfes (<i>Sinapis alba</i>) . . . {	4,6°	48	220,8
	10,5°	36	378,0
Hanfes (<i>Cannabis sativa</i>) . . . {	4,6°	72	331,2
	10,5°	48	504,0
Leines (<i>Linum usitatissimum</i>) . . {	4,6°	144	662,4
	10,5°	96	1008,0
Maises (<i>Zea Mais</i>) {	16,1°	144	2318,4
	44,0°	80	3520,0

Aus diesen Beobachtungen läßt sich leicht entnehmen, daß in jenen Fällen, wo der Same einer Pflanzenart höherer Temperatur ausgesetzt war, nur ein Teil der zugeführten Wärme zum Keimen wirklich verwendet wurde, und daß daher die auf Grundlage dieser Beobachtungen berechneten Konstanten viel zu hoch ausfallen mußten.

Nur dann, wenn wir am Thermometer die innerhalb einer bestimmten Zeit wirklich von der nebenstehenden Pflanze verbrauchte Wärmemenge ablesen könnten, würden die danach berechneten Konstanten den Anspruch auf Genauigkeit haben und zu Vergleichen brauchbar sein. Diese Bedingungen sind aber eben nicht erfüllt. Gewöhnlich wird hier nur „post hoc propter hoc“ geschlossen, es werden Thermometerangaben in Rechnung gebracht, in denen auch der von der Pflanze nicht verwendete Wärmeüberschuß enthalten ist, und demzufolge sind dann die Konstanten auch nicht der richtige Ausdruck für die zum Wachstum wirklich verwendete Wärmemenge.

Noch weit unsicherer als bei den in beschatteter Erde keimenden Samen sind die Grundlagen, auf welche sich die Berechnung der Konstanten für die unter dem direkten Einflusse der Sonnenstrahlen wachsenden oberirdischen Organe stützt. Schon der Umstand, daß die Sonnenstrahlen auf Laub, Blüten und Früchte wesentlich anders wirken als auf das Quecksilber des Thermometers, muß Bedenken erregen. Diesem Übelstande kann freilich dadurch abgeholfen werden, daß man bei allen Beobachtungen die gleichen Instrumente verwendet und entsprechende Korrekturen in Anwendung bringt; wichtiger ist dagegen, daß wir keinen Anhaltspunkt haben, um zu ermitteln, wieviel Licht in dem wachsenden, den Sonnenstrahlen ausgesetzten Organ in Wärme umgewandelt wird. Mit zunehmender Seehöhe wächst die Intensität des Lichtes, und es wächst auch seine Bedeutung für das Wachstum von einer Höhenstufe des Landes zur anderen. Diese Beziehungen ziffermäßig, zumal an den im Freien beobachteten Pflanzen und Thermometern, festzustellen, ist aber unmöglich.

Es darf nicht übersehen werden, daß sich die Wärmeaufnahme auch nach der Individualität der beobachteten Pflanzen und nach der Konstitution des Protoplasmas der betreffenden Art richtet. Die Samen des weißen Senfes werden schon durch Temperaturen, die ganz nahe dem Eispunkte liegen, zum Wachstum angeregt, während die Samen der Melone erst keimen, wenn auf sie wenigstens 17 Tage lang die Temperatur von 18,5° Einfluß genommen hat. Das beweist, daß jede Art gewissermaßen ihren eigenen unteren Nullpunkt hat, bei dem das Wachstum beginnt, und es sollte eigentlich bei allen Berechnungen der zum Wachstum der Stengel und des Laubes einer bestimmten Art

verbrauchten Wärme immer nur von diesem Nullpunkt ausgegangen werden. Da man aber in der Phänologie alle Grade über 0° des Thermometers addiert, so wird eine Temperatur in Anrechnung gebracht, die für die betreffende Art bedeutungslos war. Auch ist es eine von allen Beobachtern bekräftigte Erfahrung, daß bei den meisten Pflanzen zur Ausbildung der Blüten höhere Temperaturen als zur Entwicklung des Laubes und zum Reifen keimfähiger Samen wieder höhere Temperaturen als zur Entfaltung der Blüten notwendig sind. Einzelne Arten zeigen allerdings auch in dieser Beziehung rätselhafte Abweichungen. Die Akazie (*Robinia Pseudacacia*) entwickelt in Unteritalien ihre Blüten vor den Laubblättern, und wenn dort die Akazienbäume schon in voller Blüte stehen, sind ihre Laubblättchen noch klein und zusammengefaltete; nordwärts der Alpen entfalten sich durchweg die Laubblätter zu gleicher Zeit mit den Blüten. Und doch bringen die Phänologen in allen Fällen die von dem Thermometer angezeigte Wärme so in Rechnung, als ob sie von der Pflanze in allen Entwicklungsstadien in gleicher Weise verbraucht worden wäre.

Endlich ist noch darauf hinzuweisen, daß gewisse Veränderungen, welche während der scheinbaren Ruhe eines Samens oder eines Pflanzenstockes sich im Inneren vollziehen und die für die späteren augenfälligen Wachstumsercheinungen eine große Bedeutung haben, der Beobachtung und Berechnung vollständig entzogen sind. Wenn man die Knollen der Kartoffel im Herbst aus der Erde nimmt und in den Keller bringt, so hat es den Anschein, als ob in den einzelnen Zellen derselben alle Bewegungen, alle Umlagerungen und chemischen Umsetzungen ganz unterbrochen wären. Die Kartoffelknolle liegt ruhig in dem dunkeln unterirdischen Raum, in welchem den ganzen Winter hindurch eine konstante Temperatur von 10° herrscht. Es kommt der Frühling. Oberirdisch keimt und sproßt es aus der besonnten Erde frisch empor, und wir bringen diese Erscheinung mit der stärkeren Erwärmung durch die Strahlen der höherstehenden Sonne in Zusammenhang. In den Kellerraum fällt kein wärmender Sonnenstrahl, die Temperatur der Luft, der Erde und der monatelang hier gelegenen Kartoffelknollen ist immer gleichmäßig 10° , ja vielleicht jetzt um einige Zehntel tiefer, da sich erfahrungsgemäß die niederste Temperatur in den Kellern erst am Schlusse des Winters einstellt. Und dennoch beginnt jetzt da unten die Kartoffel auszuwachsen und schlankte Stengel aus den Knospen der Knolle hervorzutreiben, als ob sie es wüßte, daß der Frühling, die geeignete Zeit zum Sprossen und Wachsen, gekommen ist. Warum beginnt das Wachstum erst jetzt im März, warum hat es nicht schon im Dezember begonnen, da doch die äußeren Einflüsse, insbesondere die Temperatur der Umgebung im Bereiche des Kellerraumes, dazumal nicht anders waren, als sie es jetzt im Frühling sind? Auf diese Frage gibt es nur eine Antwort, und diese lautet: die Kartoffelknolle war im Dezember zum Auswachsen noch nicht ausgerüstet, sie war nur scheinbar in absoluter Ruhe, in Wirklichkeit vollzogen sich in ihren Zellen fort und fort chemische Umsetzungen und Umlagerungen, Zubereitungen und Herstellungen der Baustoffe, und diese waren im Dezember, Januar und Februar noch nicht so weit gediehen, daß es möglich gewesen wäre, Stengel, Blätter und Wurzeln aufzubauen. Erst jetzt im März sind die Vorbereitungen zum Auswachsen abgeschlossen, und erst jetzt kann jene Umgestaltung der Baustoffe, welche auch äußerlich als Wachstum erscheint, stattfinden. Die organischen Verbindungen, wie sie die Zellen der Knolle im Herbst enthielten, würden auch unter dem Einfluß einer Temperatur von 20° noch nicht zur Bildung von Stengeln, Blättern und Wurzeln getaugt haben. Alle diese Vorgänge bedürfen eben auch eines Zeitraumes, der sich durch Erhöhung der Temperatur weder

ersehen noch merklich abkürzen läßt. Man hat diese Periode als Ruheperiode bezeichnet, sie kommt auch bei Blütenzweigen zur Beobachtung. Mit Blütenknospen besetzte Kirschzweige kann man im Dezember im Zimmer in Wasser stellen, ohne daß sie ein Lebenszeichen von sich geben; tut man es im Februar, so beginnen die Blütenknospen sich zu öffnen in Folge der wärmeren Temperatur, gegen die sie vorher unempfindlich waren.

In der unterirdischen Zwiebel des Schneeglöckchens (*Galanthus nivalis*) bilden sich im Laufe des Sommers bereits die Anlagen für Blätter und Blüten des nächsten Frühlings, und Ende September sind bereits alle Teile der künftigen Blüte zwischen den umhüllenden Zwiebeln und Scheiden zu erkennen. Man sollte meinen, es wäre ein leichtes, diese Zwiebel durch Erhöhung der Temperatur und durch Feuchthalten des umgebenden Erdreiches zum Treiben zu bringen, so daß man schon im November blühende Schneeglöckchen haben könnte. Vielfältige Versuche haben aber gezeigt, daß die so behandelten Zwiebeln zwar Blätter entwickeln und einen Blütenstängel vorschicken, daß aber die Blüten nicht ordentlich auswachsen und immer frühzeitig zugrunde gehen, während doch vier Monate später bei Temperaturen, welche nicht viel über dem Nullpunkte liegen, das Wachstum der Blätter und Blüten ganz gut und rasch vonstatten geht. Und so wie mit den Knollen und Zwiebeln, für welche die Kartoffel und das Schneeglöckchen als allbekannte Beispiele gewählt wurden, verhält es sich auch mit vielen Wurzelstöcken, mit den meisten Knospen oberirdischer Zweige und mit zahlreichen Samen, Sporen und Sklerotien. Wie viele Pflanzen gibt es, die schon zeitig im Frühling blühen, im Vorfrühling ihre Früchte reifen, und deren von dem mütterlichen Pflanzentocke sich ablösende Samen schon im Hochsommer zu Boden fallen. Obgleich das Erdreich, in welches sie eingebettet sind, feucht und genügend durchwärmt ist, und obgleich alle äußeren Bedingungen des Keimens erfüllt sind, keimen sie doch nicht mehr in demselben Jahr, in welchem sie ausgestreut wurden. Erst im folgenden Frühling sprengen die Keimlinge die Samenhülle und treiben ihre Wurzeln hervor, und zwar häufig unter Verhältnissen, welche scheinbar weit ungünstiger sind, als es jene des verflossenen Sommers und Herbstes waren. Manche Samen, wie z. B. jene der Linden, müssen sogar zwei oder drei Jahre im Keimbette liegen, bevor sie keimen. Dergleichen Samen sind eben zur Zeit ihres Abfallens von der Mutterpflanze noch nicht reif oder, vielleicht besser gesagt, noch nicht keimfähig. Es müssen die in ihren Zellen enthaltenen Stoffe erst noch Umwandlungsprozesse durchmachen, ehe sie bei dem Auswachsen des Keimlings eine Verwendung finden können, und diese Umwandlungsprozesse lassen sich durch vermehrte Zufuhr von Wärme und Feuchtigkeit keineswegs beschleunigen. An manchen größeren Samen, wie z. B. denen der Hasel, der Buche und des Mandelbaumes, ist diese Verschiedenheit zwischen den eben vom Baume gefallenem noch nicht keimfähigen und den längere Zeit liegengelassenen und keimfähig gewordenen Samen schon an der Konsistenz, am Geschmack und Geruch leicht wahrzunehmen.

In besonders auffallender Weise tritt die hier besprochene Erscheinung auch an den Früchten der Wassernuß (*Trapa natans*) hervor. Bringt man Wassernüsse, welche sich von der Mutterpflanze abgelöst haben, im Herbst in ein mit Wasser gefülltes Gefäß und erhält die Temperatur des Wassers den ganzen Winter hindurch auf 15°, so wachsen die Wurzeln der Keimlinge doch erst im kommenden Frühling hervor, und zwar nicht erst bei einer erhöhten Temperatur, sondern bei derselben Temperatur, welcher die Wassernüsse sechs Monate lang ununterbrochen ausgesetzt waren. Auch wenn man die Temperatur des Wassers auf 20° erhöht, wird dadurch das Hervorwachsen der Wurzeln nicht beschleunigt, und es kann

somit die erhöhte Wärme erst dann als Anregungsmittel zum Wachstum wirksam werden, nachdem die Samen im Laufe der sechs Monate entsprechend zubereitet wurden. Die Gärtner sagen, solche Samen müssen „abliegen“ und „nachreifen“, und haben mit dem letzteren Ausdruck wohl das Richtige getroffen. Auch von den Sporen müssen viele längere Zeit abliegen und nachreifen. Manche keimen allerdings sofort, nachdem sie sich von der Mutterpflanze abgelöst haben; andere aber machen eine Ruheperiode durch, deren Dauer gewöhnlich mit großer Genauigkeit eingehalten wird und durch veränderte äußere Einflüsse wenig gekürzt werden kann. Sehr beachtenswert ist auch die Tatsache, daß in den Meeren tropischer Gegenden, deren Wasser jahraus, jahrein die gleiche chemische Zusammensetzung, die gleiche Temperatur und Beleuchtung zeigt, gewisse Arten der Florideen im März, andere im Juni und wieder andere im Oktober zur Entwicklung kommen.

Es wäre übrigens zu weit gegangen, wenn man von allen Arten behaupten wollte, daß die von ihnen in herkömmlicher Weise eingehaltene Ruheperiode durch äußere Einflüsse, namentlich durch Erhöhung der Temperatur, nicht beschleunigt werden könnte. Manche Samen, wie jene der Kresse, des Senfes, der Gerste und zahlreicher sogenannter Unkräuter, die sich auf bebautem Lande als unwillkommene Gäste einfinden, brauchen keine Ruheperiode, keimen zu jeder Jahreszeit, wenn ihnen die nötige Feuchtigkeit zugeführt wird, und ihre Entwicklung tritt desto rascher ein, je wärmer das Erdreich ist, das ihnen zum Keimbette dient. Es ist ja auch genügend bekannt, daß es Pflanzen gibt, welche, um mit den Gärtnern zu sprechen, „getrieben“ werden können. Tulpen, Maiglöckchen und Flieder, deren Ruheperiode im mittleren Europa von der Reisezeit der Samen im Sommer bis zum Frühling des nächsten Jahres dauert, kann man schon im Spätherbste, bald nachdem ihr Winter Schlaf begonnen hat, zum Treiben bringen, wenn sie im Gewächshause in warmer, feuchter Erde gepflegt werden. Sie entwickeln dann schon im Dezember oder Januar ihre Blüten, und in diesen Pflanzen sind daher die im vorhergegangenen Sommer erzeugten Stoffe schon im Herbst als Baumaterial beim Wachstum verwendbar. Eine im freien Lande wurzelnde Waldrebe (*Clematis Vitalba*) wurde, nachdem sie im Herbst ihr Laub verloren hatte, 3 m hoch über dem Boden durch einen engen Spalt in das Innere eines benachbarten Warmhauses gezogen. Aus den Knospen des von der warmen Luft im Warmhaus umgebenen oberen Nebenteiles entwickelten sich schon im Dezember beblätterte Triebe, während der außerhalb des Warmhauses befindliche, von kalter Luft umgebene untere Teil der Rebe noch gefroren war. Auch in dieser Pflanze wurden daher die im Sommer erzeugten Stoffe, alsbald nachdem sie in den Reservestoffbehältern deponiert waren, schon als Baustoffe verwendet.

Dasselbe muß wohl auch bei jenen Pflanzen der Fall sein, welche normal im Frühling blühen, in manchen durch besonders milden Herbst ausgezeichneten Jahren aber die für den nächsten Frühling angelegten und vorbereiteten Knospen schon im Oktober sprengen, frisch belaubte Stengel hervortreiben und in ein und demselben Jahre zweimal zum Blühen gelangen, wie beispielsweise manche Apfelbäume, Kastanienbäume, Veilchen, Erdbeeren, Primeln, Gentianen und Anemonen. Man hat es in neuerer Zeit auch erreicht, die Ruheperiode der Pflanzen dadurch aufzuheben, daß man sie Ätherdämpfen aussetzte. Mit dieser Methode werden jetzt Pflanzen von den Gärtnern frühzeitiger zum Blühen gebracht.

Wenn es mit Rücksicht auf die zahlreichen oben vorgebrachten Bedenken auch nicht zulässig ist, die bisher berechneten Konstanten als richtigen Ausdruck für die von den Pflanzenarten in ihren verschiedenen Entwicklungsstufen zum Wachstum verbrauchte Wärme aufzufassen,

so soll ihnen doch nicht jeder Wert abgesprochen werden. Vergleiche der an verschiedenen Orten nach derselben Methode, mit denselben Instrumenten und an denselben Arten gewonnenen Resultate werden ohne Zweifel noch zu manchem interessanten Ergebnisse führen. Die Feststellung des Beginnes der verschiedenen Entwicklungsphänomene, die Feststellung der Laub- und Blütenentfaltung, der Fruchtreife und des herbstlichen Blattfalles für möglichst viele Beobachtungsstationen ist nicht nur an und für sich ein höchst anziehendes Problem, sondern auch von einem gewissen wissenschaftlichen Wert, und zwar sowohl für die Erforschung des Pflanzenlebens überhaupt als auch ganz besonders für die Pflanzengeographie, indem die Grenzlinien, welche der Verbreitung der Gewächse gezogen sind, zum guten Teile dadurch ihre Erklärung finden, daß die betreffenden Arten ihren jährlichen Entwicklungskreis jenseit der Grenzlinie nicht mehr abzuschließen vermögen, und endlich auch für die Klimatologie, indem der jährliche Entwicklungsgang der Pflanzen in vielen Fällen das Klima einer Gegend anschaulicher zum Ausdruck bringt als der Gang der an dem betreffenden Ort aufgestellten Instrumente. Die sogenannten phänologischen Beobachtungen, das heißt die Feststellung des Erwachens der Natur am Schlusse des Winters oder nach Ablauf der Sommerdürre, die Ermittlung der Zeit, in welcher das Wachsen und Blühen seinen Höhepunkt erreicht, und die Fixierung der Periode, in welcher die Organismen wegen Ungunst der äußeren Verhältnisse in einen Winterschlaf oder Sommerschlaf verfallen, sind daher auch dann von Interesse, wenn es nicht gelingt, für den Eintritt eines jeden Phänomens die Wärmekonstante zu berechnen. Die nachfolgenden, in zwei Tabellen zusammengestellten Ergebnisse phänologischer Beobachtungen sollen dies bekräftigen. Die erste dieser Tabellen gibt eine Übersicht über die Verspätung der Vegetationsentwicklung im Frühling mit wachsender Polhöhe in Europa.

Vergleich mit Lesina im Adriatischen Meere, 43° 11' nördl. Breite, 34° 7' östl. Länge.

Nördliche Breite	Orte zwischen dem 20. u. 30. Meridian	Verspätung in Tagen	Orte zwischen dem 30. u. 40. Meridian	Verspätung in Tagen	Orte zwischen dem 40. u. 62. Meridian	Verspätung in Tagen
48—49°	Paris	43	Freiburg	58	Sarepta	66
50—51°	Brüssel	50	Prag	59	Kiew	68
52—53°	Dsnabrück . . .	63	Warschau	65	Drel	79
59—60°	Christiania . . .	86	—	—	Pulkowa	100

Zum Ausgangspunkte bei dem Vergleiche wurde die Insel Lesina im Adriatischen Meer gewählt, und zwar aus dem Grunde, weil dort die klimatischen Verhältnisse zwischen jenen der unter gleicher Breite im westlichen ozeanischen und im östlichen kontinentalen Europa gelegenen Orte die Mitte halten. Die mit Lesina verglichenen, nicht über 300 m Seehöhe liegenden Beobachtungsstationen wurden in drei Reihen geordnet, eine westliche zwischen dem 20. und 30. Meridian, eine mittlere zwischen dem 30. und 40. Meridian und eine östliche zwischen dem 40. und 62. Meridian. Überblickt man nun die Verspätung gegen Lesina mit zunehmender Polhöhe, so stellt sich das interessante Resultat heraus, daß diese Verspätung in der östlichen kontinentalen Reihe um zwei bis drei Wochen größer ist als in der westlichen Reihe. Zu einer Zeit, wenn in Paris schon zahlreiche Frühlingspflanzen in voller Blüte stehen, ist die Pflanzenwelt auf den unter gleicher Breite liegenden russischen Steppen (Sarepta) noch tief im Winterschlaf, und erst 23 Tage später rückt hier die Vegetation in das gleiche Stadium ein.

In der zweiten hier eingeschalteten Tabelle sind jene amerikanischen und europäischen Orte nebeneinander gestellt, an welchen das Aufblühen derselben Frühlingspflanzen gleichzeitig erfolgt.

Die Frühlingspflanzen blühen zu gleicher Zeit auf den Stationen:

Nordamerikas	Geogr. Breite	Europa's	Geogr. Breite	Breiten- unterschied
New Albany	38° 17'	Dijon	47° 19'	9° 02'
Sylseshville	39° 23'	Kremsmünster	48° 30'	9° 07'
Belle Centre	40° 28'	Heidelberg	49° 28'	9° 00'
New York	40° 42'	Marburg (Hessen)	50° 47'	10° 05'
Germantown	42° 40'	Antwerpen	51° 13'	8° 33'
Baldwinville	43° 40'	Utrecht	52° 03'	8° 23'

Diese Tabelle zeigt, daß die geographische Lage der amerikanischen und europäischen Orte, an welchen die gleichen Frühlingspflanzen in das gleiche Entwicklungsstadium treten, um 8—10 Breitengrade abweicht, so daß z. B. in New York (mit Neapel unter gleicher Breite) die Pflanzen zu derselben Zeit aufblühen wie in dem um 10 Breitengrade nördlicher gelegenen Marburg.

Tödliche Wärmegrade.

Durch Erhöhung der Temperatur über eine gewisse Grenze hinaus wird das Pflanzenleben vernichtet. Im allgemeinen liegt diese Temperatur nicht einmal sehr hoch und noch weit unterhalb der Siedetemperatur des Wassers. Manche Pflanzen gehen schon zwischen 40—45° zugrunde, die meisten sicher zwischen 50—55°. Die Erscheinungen, die man äußerlich bei durch Wärme getöteten Pflanzen wahrnimmt, sind denen ganz ähnlich, welche bei durch Erfrieren getöteten beobachtet werden. Das grüne Gewebe ist verfärbt, zeigt ein dunkleres Kolorit, hat seinen Turgor eingebüßt, welkt und vertrocknet, und weder die Zufuhr von Wasser noch die Herabminderung der Temperatur können den früheren Zustand wiederherstellen. Im Inneren der Zellen sieht man das Protoplasma zusammengeballt, von der Zellhaut abgehoben und Wasser ausgeschieden, das bisher im molekularen Verbannde des Protoplasmas gestanden hatte. Sehr deutlich vermag man diese Veränderungen an Wasserpflanzen zu verfolgen, deren Zellwände so durchsichtig sind, daß sie den Einblick in das Innere der Zellkammern gestatten. Wenn man die auf S. 25, Fig. 3, abgebildeten Zellen der Wasserpflanze *Elodea* bei einer Temperatur des umgebenden Wassers von 30° unter dem Mikroskop betrachtet, so sieht man das Protoplasma in jener lebhaften Strömung, welche auf S. 37 geschildert worden ist. Wird die Temperatur auf 40° erhöht, so wird diese Strömung langsamer, und bei 41° hört sie ganz auf, ohne daß aber das Protoplasma sonst eine besondere Veränderung zeigen würde. Auch wenn die Temperatur auf 45° und allmählich bis 50° steigt, ändert sich nichts an dem Bilde; erst bei 52° tritt dann eine sehr auffallende Veränderung ein. Die im Protoplasma eingebetteten Stärkekörner werden rissig; das Protoplasma zieht sich zusammen und bildet krümelige, klumpige Massen, die sich um die zerklüfteten Stärkekörnchen ballen; es ist jetzt starr; die eiweißartigen Stoffe in ihm sind geronnen oder koaguliert. Sinkt nachträglich die Temperatur wieder auf 30° herab, so wird das Protoplasma doch nicht wieder beweglich und lebendig, und wir müssen daher annehmen, daß sein molekularer Aufbau bei 52° eine nicht mehr aufzuhebende Veränderung erlitten hat, daß es getötet worden ist.

In der Hauptsache beruht demnach der Wärmetod auf der Zerstörung und Tötung des Protoplasmas. Man hat wohl angenommen, daß die Temperatur besonders

die Eiweißstoffe des Protoplasmas zum Gerinnen bringe, aber dann müßte das Absterben der Pflanzen stets bei ein und derselben Temperatur erfolgen, was nicht der Fall ist. Es wäre aber vielleicht möglich, daß die verschiedenen Eiweißstoffe verschiedener Zellen bei verschiedenen Temperaturen (60—80°) gerinnen, wobei auch der Wassergehalt und die Gegenwart von Salzen und Säuren eine Rolle spielen könnten. Bei Gegenwart von Salzen kann z. B. das Gerinnen schon bei 50° erfolgen. Unter Annahme solcher Verhältnisse dürfte es nicht wundernehmen, daß Pflanzenarten, deren Protoplasma eine verschiedene Konstitution zeigt, bei sehr verschiedenen Temperaturen getötet werden. Man darf, wenn auch die Vorstellung von einer Gerinnung der Eiweißstoffe nicht ausreichend zur Erklärung des Wärmetodes ist, doch ziemlich sicher annehmen, daß es sich in erster Linie um chemische Veränderungen des Protoplasmas handelt. Die Vorgänge, welche an der oben erwähnten Elodea bei 30, 41 und 52° beobachtet wurden, sieht man an anderen Wasserpflanzen bei anderen Temperaturen eintreten. In den Zellen der Vallisnerie (*Vallisneria spiralis*), welche durch die Abbildung auf S. 25, Fig. 2, dargestellt werden, hört die Strömung des Protoplasmas erst bei über 43° auf, und die Ballung des Protoplasmas infolge des Gerinnens der Eiweißstoffe erfolgt erst bei 53—54°. Bei der in Madagaskar heimischen Wasserpflanze *Aponogon fenestrata* findet die Tötung des Protoplasmas erst bei 55° statt. Manche Algen vertragen selbst noch höhere Temperaturen. In den Rinnen, durch welche das warme Wasser des Karlsbader Sprudels abfließt, gedeihen bei einer Temperatur von 55—56° noch dunkle *Dszillarien*; in den Quellen von Abano, welche eine Temperatur von nahezu 60° besitzen, findet sich noch *Sphaerotilus thermalis*, und auch in der Solfatara bei Neapel sind die Seitenwände der Felsenipalten, aus welchen der Dampf mit einer Temperatur von 55—60° herausqualmt, noch mit grünen Anflügen von Algen überzogen.

Bei den Pflanzen, welche nicht untergetaucht im Wasser leben, hat neben der spezifischen Konstitution des Protoplasmas auch der Wassergehalt auf das Überhitzigen einen wesentlichen Einfluß. Wenn die von Luft umgebenen Gewebe wasserarm sind, vertragen sie weit höhere Temperaturen, als wenn sie von Wasser strotzen. Für wasserreiche Zellen der Stein- und Erdpflanzen dürfte in den meisten Fällen 50° die höchste Temperatur sein, welche sie noch annehmen können, ohne zu sterben. Viele Dickblätter vermögen in der Sonne Temperaturen von 50—53° längere Zeit ohne Nachteil zu überdauern. Die Sporen von Schimmelpilzen (*Rhizopus nigricans* und *Penicillium glaucum*) hat man bei 54—55° noch keimen und sich weiterentwickeln sehen. Mehrere Spaltpilze, namentlich aus der Gattung *Bacterium*, werden erst bei einer Temperatur von 55° getötet. Im trockenen Zustande gehen jene Zellen und Gewebe, welche ohne Schaden austrocknen können, auch unter dem Einflusse weit höherer Temperaturen nicht zugrunde. Die Krustenflechten, welche an den Kalkfelsen auf den schattenlosen Einöden des Karstes in Syrien und Dalmatien haften (*Aspicilia calcarea*, *Verrucaria purpurascens* und *V. calciseda*), sind an wolkenlosen Tagen im Sommer mehrere Stunden lang regelmäßig einer Temperatur von 58—60° ausgesetzt, ohne dadurch Schaden zu leiden, und die Mannaflechte (*Lecanora esculenta*), die auf S. 457 abgebildet ist, wird so wie das Gestein, dem sie in der Wüste angeheftet ist, oft genug auf 70° erhitzt, ohne zu verderben. Auch die Samen, welche oberflächlich dem Wüsten sand eingelagert sind und hier die lange Zeit der Dürre überdauern, nehmen ohne Zweifel die Temperatur ihrer Umgebung an. Diese beträgt am Nachmittage regelmäßig 60—70°, was aber für die Samen ohne Nachteil ist; denn wenn dann wieder die Regenzeit kommt, werden sie

aus ihrem Sommerschlaf geweckt und keimen aus dem befeuchteten und abgekühlten Boden hervor. Die höchste Temperatur in der oberflächlichen Bodenschicht wurde nahe dem Äquator auf der Station Chinchogo an der Loangoküste beobachtet. Dieselbe überstieg in sehr zahlreichen Fällen 75° , erreichte oft 80° und einmal sogar $84,6^{\circ}$. Auch diesem Boden fehlt es in der Regenzeit nicht an einjährigen Gewächsen, und ohne Zweifel haben die trockenen Samen dieser Gewächse in dem zeitweilig bis über 80° erhitzten Sande monatelang gelegen, ohne dadurch ihre Keimkraft einzubüßen. Es ist durch Versuche auch festgestellt, daß Samen, denen durch Chlorcalcium möglichst viel Wasser entzogen wurde, auf den Siedepunkt des Wassers gebracht werden können, ohne daß sie dadurch getötet werden. Von verschiedenen Samen, denen man 50 Stunden lang Wasser entzogen hatte, und welche dann 3 Stunden hindurch auf 100° erwärmt wurden, keimten noch jene der Linfen (und zwar 49 Prozent der zu dem Versuche verwendeten Samen), der Wicken (50 Prozent), des Knoblauchs (60 Prozent), des



Mannaflechte (*Leccanora esculenta*) in der Wüste.

Weizens (75 Prozent), des Majorans (78 Prozent) und der Melonen (96 Prozent). Selbst von solchen früher ausgetrockneten Samen, die ungefähr 15 Minuten lang einer Temperatur von $110-125^{\circ}$ ausgesetzt wurden, keimte immer noch ein kleiner Teil, und es ist die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, daß es Arten gibt, deren Samen noch höhere Temperaturen ohne Nachteil vertragen.

Besonders sind manche niedere Pflanzen offenbar widerstandsfähiger gegen höhere Temperaturen als höhere Pflanzen. Es ist oben erwähnt, daß in warmen und heißen Quellen noch Algen, namentlich Dszillarien und deren Verwandte, vegetieren, außer im Karlsbader Sprudel auch in den Sinterbecken des Yellowstoneparks. Auffallend verhalten sich manche Bakterien, z. B. der Heubazillus, dessen Sporen durch einstündiges Kochen in Wasser nicht getötet werden. Man kann aber trotz alledem sagen, daß auch keine Spore der niederen Pflanzen auf die Dauer der Siedetemperatur widerstehen könne.

In der freien Natur laufen die Einrichtungen, durch welche die Pflanzen gegen zu hohe Temperatur geschützt sind, auf eine Wasserabgabe hinaus. Die Steinpflanzen, namentlich die Krustenflechten, welche am meisten in Gefahr sind, den Wärmetod zu erleiden, sind so organisiert, daß sie in kürzester Zeit viel Wasser fahren lassen können; sie werden dann starr und spröde, man kann sie zu Staub zerreiben, und es scheint kaum glaublich, daß diese ausgedorrten Gebilde dennoch lebendig bleiben können. Mit den Steinmoosen verhält es

sich nicht anders. Auch mehrere Volvazineen, *Sphaerella pluvialis* und noch verschiedene andere in seichten Tümpeln und Rinnsalen lebende Sporenpflanzen vertrocknen nach dem Verdunsten des an ihrem Standort angesammelten Wassers mit dem Schlamme zu Staub und sind in diesem Zustande gegen das Versengen geschützt. Wird dieser Staub, welcher zur Zeit der Dürre täglich mehrere Stunden hindurch auf 60° erwärmt war, später befeuchtet, so erwachen alle die kleinen Sporenpflanzen wieder aus ihrem Scheintod, und, was nicht übersehen werden darf, auch die winzigen Nädertierchen und verschiedene Infusorien, welche in demselben erhitzten Staub eingelagert waren, rühren sich wieder, spielen mit ihren Wimpern und liefern den Beweis, daß auch für das tierische Protoplasma die rechtzeitige Wasserabgabe das beste Schutzmittel gegen das Versengtwerden ist. In den Wüsten und Steppen und in allen Gegenden, wo in heißer, regenloser Zeit der Boden oberflächlich bis zu 70° erwärmt wird, gibt es bekanntlich auffallend viele einjährige Gewächse. Sobald die heiße Periode beginnt, sind Blätter, Stengel und Wurzeln bereits abgestorben, und die Pflanzen haben ihre Samen ausgestreut. Diese Samen sind aber sehr wasserarm, können auch von dem wenigen Wasser, das sie enthalten, noch einen Teil ohne Nachteil abgeben und sind so gegen das Versengtwerden am besten geschützt.

Von den ausdauernden Pflanzen solcher Gebiete wirft ein Teil am Schlusse der Regenzeit das Laub ab und überdauert die heiße, trockene Periode mit entblätterten, scheinbar toten Zweigen (vgl. S. 271). Andere geben alle ihre oberirdischen Teile dem Versengen preis, erhalten sich nur unterirdisch in einer Region, wo die Erde niemals so hohe Temperaturen annimmt, und verschlafen dort die heiße Zeit als ruhende Knollen, Zwiebeln und Wurzelstöcke. Es darf hier auch daran erinnert werden, daß in Gegenden, wo hohe Temperaturen nicht mit großer Trockenheit gepaart sind, der übermäßigen Erwärmung durch die Verdunstung der saftreichen Gewebe gesteuert werden kann, indem bekanntlich die verdunstenden Körper immer auch eine Abkühlung erfahren. Endlich ist hier auch noch des Umstandes zu gedenken, daß manche Pflanzen Orte zur Ansiedelung wählen, wo sie der Beschädigung selbst an den heißesten Tagen des Jahres nicht ausgesetzt sind. Im Schutze schattenspendender Felswände und überall da, wo die Sonnenstrahlen nicht ungeschwächt und unmittelbar einwirken können, erreicht selbst am Äquator der Boden niemals jene Temperaturen, welche ein Versengen saftiger Pflanzenteile veranlassen könnten, und noch weniger vermöchte die an schattigen Stellen maßgebende Wärme der Luft eine solche Wirkung zu erzielen; denn die höchsten bisher beobachteten Schattentemperaturen gehen über 40° wenig hinaus (42° in Abu Krich in Arabien; 43,1° am Flusse Macquaire in Australien), und bei dieser Temperatur wird in keiner einzigen Pflanze das Protoplasma getötet.

Es fragt sich nun, wie die Ergebnisse, welche die Untersuchungen über den Wärmetod geliefert haben, mit den früher ermittelten Beziehungen der Wärme zur lebenden Pflanze, insbesondere mit der Theorie des Wachstums, in Einklang gebracht werden können. Wir haben uns das Wachstum als eine molekulare Arbeit der lebendigen Protoplasten gedacht und stellen uns vor, daß sich die Moleküle und Molekülgruppen des Protoplasmas wie bei jeder Arbeit in Wärmeschwingungen von gewisser Größe befinden, oder mit anderen Worten, daß für jede Arbeit und besonders für das Wachstum ein bestimmter Wärmegrad notwendig ist. Gehen nun die Wärmeschwingungen über die festgesetzte Grenze hinaus, so wird dadurch die Lagerung, es werden die gegenseitigen Beziehungen der Moleküle im Protoplasma vollständig geändert, und es erfolgen Umlagerungen, welche nachträglich nicht mehr gutgemacht

werden können. Dabei finden nicht bloß physikalische, sondern auch chemische Veränderungen statt. Das Protoplasma hat dann die Fähigkeit, sich weiter zu ernähren und sich zu vergrößern, eingebüßt, es ist getötet worden. Dasselbe geschieht aber auch, wenn die Intensität der Wärmeschwingungen unter ein gewisses Maß herabsinkt. Auch da erfolgen Umlagerungen in der Substanz des Protoplasmas, welche nicht wieder rückgängig zu machen sind und den Tod des lebendigen Protoplasten zur Folge haben. Durch ein Zuviel ebenso wie durch ein Zuwenig an Wärme kann demnach die molekulare Arbeit der lebendigen Protoplasten, welche als Wachstum erscheint, aufgehalten und sogar vollständig unterbrochen werden, und zwar erfolgt die Unterbrechung in dem Protoplasma verschiedener Arten auch unter dem Einflusse verschiedener Wärmegrade. So wie Wasser, Alkohol, Quecksilber bei bestimmten Temperaturen in Dampfform übergehen und bei bestimmten Temperaturen erstarren, so gibt es auch für das wasserhaltige Protoplasma jeder Pflanzenart eine Temperatur, bei der es gefriert. Allein während chemische Verbindungen bei Erhöhung der Temperatur wieder unverändert in ihren früheren Aggregatzustand zurückgehen, ist das beim Protoplasma nicht der Fall. Das Protoplasma wird durch Temperaturen unter 0° dauernd verändert, es ist tot.

5. Das Erfrieren.

Mamertus, Panfratius und Servatius, deren Namen im Kalender neben dem 11., 12. und 13. Mai stehen, führen in Deutschland und Österreich im Volksmunde den Namen „Eisheilige“. Daß sie diesen Namen erhalten haben, hat seinen Grund in einem alljährlich um die Mitte des Mai eintretenden Rückschlage der Temperatur; dieser wird von gewissen Verschiebungen der Luftdruckverhältnisse über Westeuropa hervorgerufen, durch die eine kalte Luftströmung weit in den Kontinent hineingeführt wird. Es scheint, daß diese Luftströmung durch die starke Erwärmung der großen südosteuropäischen Niederungen (Ungarn) verursacht wird; die dort durch die Bodenerhitzung entstehende Luftverdünnung wirkt nach Nordwesten zu saugend. Es finden zwar auch noch später im Sommer ziemlich regelmäßig an gewissen Tagen solche mit großer Abkühlung der Atmosphäre verbundene Rückschläge statt, dieselben haben aber nicht die gleiche Beachtung gefunden, und zwar darum, weil sie für die Feldfrüchte, das Obst und den Wein nicht so gefährlich sind wie der Rückschlag um die Mitte des Wonnemonats. Wenn auch noch im Juni oder Juli recht kühle Tage eintreten, so haben dieselben doch niemals mehr einen Frost im Gefolge, während die drei Eismänner des Mai selbst in den mildesten Gegenden Mitteleuropas in den Nächten starke Fröste bringen und unberechenbaren Schaden für die noch in der Entwicklung begriffenen Pflanzen nach sich ziehen können.

In einem gefrorenen Pflanzenteile fällt zunächst auf, daß er seine Elastizität vollständig eingebüßt hat. Wenn man ein gefrorenes, steif gewordenes Laubblatt beugt und mit den Fingern zusammendrückt, so entsteht sofort eine bleibende Falte; das Blatt erscheint entlang der Falte geknickt und hat nicht mehr die Fähigkeit, die frühere Lage anzunehmen. Beim Knicken hört man ein knirschendes Geräusch, ähnlich wie beim Brechen körnigen Eises, und in der Tat ist es auch kristallinisches Eis, welches sich im Inneren des Blattes gebildet hatte, das durch den Druck zerbrochen wird und dabei dieses Knirschen hören läßt. Erhöht sich im Laufe des Tages die Temperatur, so tauen die gefrorenen Pflanzen auf. Die meisten erhalten

aber dann nicht mehr die Elastizität, welche sie vor dem Froste bejessen hatten; die Blätter hängen schlaff herab, zeigen auch ein anderes Grün und sind mehr durchscheinend, als sie es früher waren. Auch ist die Oberfläche feucht, und die Oberhaut löst sich leicht von den tieferen Gewebeschichten ab. Allmählich schrumpfen die welken Blätter, vertrocknen und nehmen eine braune oder schwarze Farbe an. Sie haben dann das Aussehen verkohlter oder verbrannter Blätter, und der Landwirt sagt auch, der Frost habe die Blätter verbrannt.

Was geht nun bei diesem Erfrieren der Pflanzen in ihrem Inneren vor? Die Vorstellung, welche sich die Botaniker einst von dem Erfrieren machten, war folgende. Der wässrige Zellsaft der Pflanze erstarrt zu Eis; das Eis nimmt aber einen größeren Umfang an, als der flüssige Zellsaft hatte, und infolgedessen werden die Wände der Zellen in den Blättern zerrissen und gesprengt, ähnlich wie die Glaswand einer Flasche, in welcher Wasser gefroren ist. Ein Gewebe, dessen Zellen zerrissen sind, kann aber seinen Funktionen nicht mehr nachkommen. Wenn auch bei nachträglich zunehmender Temperatur das Eis wieder schmelzen sollte, so ist doch der Schade an den zerrissenen Zellhäuten nicht wieder gutzumachen; zudem entströmt auch der Zellsaft aus den Zellkammern einer aufstauenden Pflanze, und man sieht die nach dem Erfrieren wieder aufgetauten Blätter und Stengel nicht nur geschwärzt, weich und schlaff, sondern auch mit Wassertröpfchen besetzt oder mit einer wässrigen Schicht überzogen, welche nicht mehr in das Innere zurückkehrt.

Neuere, sorgfältigere Untersuchungen haben ergeben, daß diese Vorstellung von dem Erfrieren der Pflanzen mehrfacher Berichtigungen bedarf. Zunächst insofern, als durch den Druck des im Inneren der Zellen gebildeten Eises kein Zerreißen und Zersprengen der Zellwände stattfindet. In den Geweben der von Luft umspülten Pflanzenteile beginnt die Eisebildung überhaupt nicht im Inneren der Zellkammern, sondern in den sogenannten Interzellularräumen, und nur in jenen Wasserpflanzen, welchen Interzellulargänge fehlen, wie z. B. in den Armleuchtergewächsen, bilden sich schon die ersten Eiskristalle im Inneren der Zellen.

Die zu den Armleuchtergewächsen gehörige *Nitella syncarpa*, welche im klaren Wasser der Tümpel und Teiche des mittleren Europa angetroffen wird, wird durch eine Temperatur von 0° in ihrer Lebenstätigkeit nicht gestört; sogar die Strömung des Protoplasmas in den Zellen ist noch eine sehr lebhaft. Auch wenn sich in dem umgebenden Wasser bei weiterer Abkühlung auf -2° Eiskristalle bilden, so ist die Strömung des Protoplasmas noch zu erkennen. Es werden zwar von den Eiskristallen die Zellen etwas zusammengedrückt, aber selbst bei -3° ist das Protoplasma noch nicht getötet. Erst zwischen -3° und -4° beginnt der Protoplast zu schrumpfen, gibt einen Teil seines Wassers ab, löst sich von der Innenwand der Zellkammer los, bildet in der Mitte der Zelle einen faltigen, zusammengezogenen Sack, und das ausgeschiedene Wasser erstarrt zwischen diesem Sack und der Wand der Zellkammer zu Eis. Setzt man diese *Nitella* wieder einer höheren Temperatur aus, so schmilzt das Eis, das Protoplasma dehnt sich und legt sich der Zellwand an; aber es ist unfähig, wieder in strömende Bewegung überzugehen, es hat zu leben aufgehört, sein molekularer Aufbau wurde durch die Wasserausscheidung so gründlich verändert, daß eine Wiederherstellung nicht möglich ist.

In den Stengeln und Blättern der von Luft umgebenen Gewächse entsteht das erste Eis, wie schon oben bemerkt, immer in den Interzellulargängen. Da aber für gewöhnlich in den Interzellulargängen Luft und nicht Wasser enthalten ist, so muß das zu Eis erstarrende Wasser in die Interzellulargänge erst kurz vor dem Erstarren aus den angrenzenden Zellen ausgeschieden werden. Und das geschieht auch tatsächlich. Die Struktur der Eiskristalle läßt

deutlich erkennen, daß das Wasser durch die Zellwände hindurch nach außen gekommen ist, und zwar nicht auf einmal, sondern nach und nach; denn man sieht an den äußeren gegen den Interzellularraum sehenden Wänden der Zellen das Eis in Form kleiner, übereinander geschichteter und zu Säulen vereinigter Scheiben, welche sich nur allmählich eine nach der anderen gebildet haben konnten. Diese Beobachtung regt aber die Frage an: welche Teile der Zellen geben das Wasser ab, und warum erstarrt das Wasser in den Interzellularräumen und nicht an jenen Stellen, wo es sich vor dem Froste befunden hatte? Vor Beantwortung dieser Frage ist zunächst daran zu erinnern, daß das von den Pflanzen aufgenommene Wasser nur zum Teil in den chemischen Verband der Stoffe des Zellenleibes und der Zellhaut eingegangen ist, daß ein anderer Teil, welcher auf S. 154 Betriebswasser genannt wurde, nicht chemisch gebunden ist. Von diesem letzteren ist die Zellhaut und auch der Zellenleib durchtränkt, und auch der Zellsaft in der Leibeshöhle des Protoplasten enthält reichlich solches Wasser. Im Zellsaft erscheint es als Lösungsmittel der dort vorhandenen Säuren, Salze und anderen Stoffe. Ein anderer Teil des Wassers bildet aber einen zugehörigen Bestandteil des Protoplasmas, ohne welches die Form der Protoplasten so wenig beständig ist wie die des Kristalls, dem man das sogenannte Kristallwasser entzieht. So wie ein Salzkristall zerfällt, wenn man durch hohe Temperatur sein Kristallwasser entfernt, so zerfällt auch das Protoplasma durch den Wasserverlust bei einer Eisbildung.

Wenn ein Körper, welcher das Wasser in seinen feinsten Zwischenräumen festhält, wie etwa der Kleister, oder in dem das Wasser als Lösungsmittel erscheint, wie eine Maunlösung, bis zu dem Gefrierpunkte des Wassers abgekühlt wird, geschieht folgendes. Das Wasser erstarrt merkwürdigerweise nicht sofort zu Eis, solange es in den Interstitien zwischen Molekülgruppen oder als Lösungsmittel festgehalten wird, und viele Salzlösungen können bis auf 5° , manche sogar auf 10° unter Null abgekühlt werden, ohne zu gefrieren. Und wenn endlich unter dem Einflusse tieferer Temperaturen ein Erstarren stattfindet, so hat sich immer vorher eine Scheidung vollzogen; das Wasser ist aus den feinsten Zwischenräumen des Kleisters in größere Hohlräume desselben zusammengefloßen und ist erst in diesen Hohlräumen zu Eis erstarrt, und das Wasser der Salzlösungen hat sich von den Salzmolekülen getrennt und ist erst dann zu Eiskristallen geworden.

Ähnlich verhält es sich aber auch mit dem Wasser, welches die Zellhaut und das Protoplasma tränkt und als Lösungsmittel gewisser Inhaltsstoffe der Zelle dient. Bei einer Abkühlung der Pflanzengewebe auf -1° findet nur bei ganz wenigen Arten schon Eisbildung statt, und in den meisten Fällen muß die Temperatur auf -2° oder -4° sinken, damit sich in dem erkalteten Gewebe Eis bildet. Das Wasser hat sich, bevor es zu Eis erstarrte, von den Molekülen, durch die es bisher festgehalten war, gesondert, und es erstarrt nicht innerhalb der Zelle, sondern, indem es leicht durch die Zellhaut diffundiert, an deren Außenseite im Interzellularraum. Würde das Wasser schon bei geringen Kältegraden sofort im Inneren der Zellen zwischen den Molekülgruppen des lebendigen Zellenleibes und seiner Haut erstarren, so wäre auch eine gründliche Verschiebung und eine Zerstörung dieser Molekülgruppen unvermeidlich. Außerhalb der Zelle werden dagegen die Eiskristalle solche Zerstörungen nicht veranlassen. In den Interzellularräumen können sie umfangreiche Drusen bilden, es kann dadurch der Interzellularraum sogar erweitert, und es können die angrenzenden Gewebeteile auseinander gedrängt und zerklüftet, teilweise auch abgelöst und abgehoben werden, ohne daß aber gleichzeitig auch eine Zerstörung der Zellen selbst stattfindet.

Man war eine Zeitlang der Ansicht, daß das Gefrieren des Zellgewebes nicht immer den Tod der Pflanze herbeiführe. Man beobachtete nämlich, daß das Thermometer in einer kalten Nacht auf -1° bis -2° fallen konnte, und die Pflanzen am folgenden Tage nach dem Wiedererwärmen doch unbeschädigt erschienen. Andere Pflanzen fielen dagegen beim Steigen der Tageswärme zusammen und waren erfroren. Dies verschiedene Verhalten führte man auf langsames oder schnelleres Auftauen zurück, und man glaubte durch langsames Auftauen erfrorene Pflanzen retten zu können. Diese unrichtige Meinung, die auf ungenauer Beobachtung beruht, hört man Gärtner und Obstzüchter noch häufig vertreten.

Tatsache ist es, daß Pflanzen nur durch wirkliche Eisbildung im Gewebe erfrieren. Da aber die Zellflüssigkeit nicht aus Wasser, sondern aus konzentrierten Lösungen bestehen, so bildet sich in Pflanzengeweben kein Eis bei 0° , sondern erst bei Temperaturen, die mehrere Grade unter Null liegen. Das Thermometer kann also $1-2^{\circ}$ Kälte anzeigen, ohne daß die Pflanzen erfrieren, und es ist kein Wunder, daß sie bei langsamer Steigerung der Luftwärme völlig unverändert erscheinen. Es handelt sich dabei um kein langsames Auftauen, denn die Pflanzen waren gar nicht erfroren, sondern nur stark abgekühlt. Soll eine Pflanze erfrieren, so muß sie meist viel tiefer als 0° abgekühlt, sie muß überkältet, in manchen Fällen sogar auf -6° bis -8° gebracht werden, ehe sie erfriert.

Es steht zweifellos fest, daß die Pflanzen nur bei Eisbildung in den Geweben getötet werden. Damit ist aber der Vorgang der Tötung noch nicht aufgeklärt, denn es handelt sich um einen Eingriff in die Konstitution des Protoplasmas. Da wir von dessen Bau sehr wenig kennen, kann man nur Theorien über das Erfrieren aufstellen. Man hat angenommen, es handle sich bei der Eisbildung wesentlich um eine Wasserentziehung. Das könnte vielleicht bei Holzpflanzen der Fall sein. Wenn das in den Holzzellen vorhandene Quellungswasser der Zellwände gefriert, wird dem Holz das Wasser entzogen. Bei starken Nord- und Ostwinden verschwindet das daraus entstandene Eis langsam durch Verdunstung, und da in dem kalten Boden die Wurzeltätigkeit ganz ruht, findet kein Nachschub von Wasser von untenher statt. Infolgedessen wird das Holz immer wasserärmer und trocknet infolge des Frostes aus. Dadurch wird es aber chemisch und physikalisch so verändert, daß es die Fähigkeit, Wasser zu leiten, verliert, und wenn auch bei eintretendem Tauwetter die im Boden lebendig gebliebene Wurzel ihre Tätigkeit wieder beginnt, so leitet das Holz des Stammes das Wasser nicht mehr nach oben, die Knospen vertrocknen, und der Baum ist abgestorben. Das Erfrieren von Baumstämmen ist also eine etwas andere Erscheinung als das saftiger Pflanzen.

Beim Erfrieren saftiger Gewebe muß der Vorgang anders verlaufen. Hier handelt es sich im Gegensatz zum Holz um protoplasmaführende Zellen. Die bloße Wasserentziehung kann aber bei diesen nicht zur Erklärung des Frosttodes ausreichen, da die Plasmolyse ergibt, daß Protoplasten durch Entziehung des Wassers nicht absterben. Wahrscheinlicher ist es, daß durch das Ausfrieren von Wasser eine chemische Zersetzung des Protoplasmas eintritt.

Man kann sich diesen Vorgang folgendermaßen denken¹. Das Protoplasma ist eine zusammengesetzte Substanz, doch bilden Eiweißstoffe einen maßgebenden Bestandteil desselben. Der Aggregatzustand des Protoplasmas gleicht ganz dem einer zähen Flüssigkeit, aber es kann nicht angenommen werden, daß es eine bloße Eiweißlösung sei. Es läßt sich leicht feststellen, daß das Protoplasma reich an Salzen, namentlich an Kalziumphosphat ist, und es

¹ Vgl. Sanjen, „Flora“, 1889, S. 408.

scheint, daß die in Wasser unlöslichen Eiweißstoffe durch das Kalziumphosphat in dem gequollenen Zustand erhalten werden, der für das Protoplasma charakteristisch ist. Werden die Salze von den Eiweißstoffen des Protoplasmas getrennt, so werden sie in unlöslicher Form ausgefällt, das Protoplasma gerinnt und wird unbeweglich. Eine Trennung und kristallinische Ausfällung der Salze kann man bei vielen Pflanzen leicht herbeiführen, wenn man ihr Zellgewebe mit Alkohol behandelt; das Kalziumphosphat trennt sich dann vom Protoplasma und wird in Sphärökristallen abgetrennt. Man kann annehmen, daß durch die Eisbildung beim Erfrieren ebenfalls eine Trennung der Salze von den Eiweißkörpern des Protoplasmas stattfinden muß. Das Kalziumphosphat friert mit dem Wasser aus, und wenn es sich beim Auftauen wieder löst, so kann es sich nicht mehr mit den Eiweißkörpern vereinigen, vielmehr wirkt die konzentrierte Salzlösung auf die Eiweißstoffe so, daß sie gerinnen, d. h. in unlösliche Modifikation übergeführt werden. Damit ist aber das Protoplasma getötet.

Bei welchen Kältegraden das Gefrieren, und bei welchen das Erfrieren stattfindet, richtet sich zunächst nach der spezifischen Konstitution des Protoplasmas der verschiedenen Pflanzenarten, dann aber auch bei jeder einzelnen Art nach dem Entwicklungsstadium, in welchem sich die der Kälte ausgesetzten Organe befinden. Gleichwie das Wasser in verschiedenen Salzlösungen bei verschiedenen Temperaturen zu Eis erstarrt, zeigt auch das Protoplasma der einen Art ein von dem Protoplasma der anderen Art abweichendes Verhalten. Es wurde oben erwähnt, daß die Wasserpflanze *Nitella syncarpa* schon bei einer Temperatur von -4° erfriert. Andere Wasserpflanzen dagegen vertragen die größten Kältegrade, ohne daß ihr Protoplasma getötet wird. Die *Sphaerella nivalis*, welche die Rotfärbung des Schnees veranlaßt (vgl. S. 30), ist im arktischen Gebiete im Winter monatelang einer Temperatur von -20° ausgesetzt, ohne dadurch vernichtet zu werden. Dasselbe gilt von mehreren Arten der Gattungen *Epithemia*, *Navicula* und anderen Diatomazeen, welche mit der *Sphaerella nivalis* zusammen auf dem Firn der Gletscher lebend angetroffen werden. Einschaltungsweise darf hier wohl erwähnt werden, daß es auch Tiere gibt, die mit diesen einzelligen Pflanzen zusammen in der Eisregion leben und dort monatelang gefroren sind, ohne dadurch getötet zu werden. Die Nädertierchen spielen, sobald sie auftauen, wieder mit ihren Wimpern, die unter dem Namen Gletscherflöhe bekannten schwarzen Poduren machen ihre weiten Sprünge, und die scheffigen Spinnen schreiten mit ihren langen Beinen wieder über die von der Sonne beschienenen eisigen Gefilde, während andererseits die durch Winde auf dieselben Firnfelder verschlagenen Insekten durch den Frost in kurzer Zeit ihren Tod finden.

Ähnlich wie mit den Pflanzen der Firnregion verhält es sich mit jenen der tieferen Regionen. Gewächse, die sich äußerlich sehr ähnlich sehen, und die auch im anatomischen Bau große Übereinstimmung zeigen, können sich doch in Beziehung auf das Erfrieren ganz verschieden verhalten. Während die Pinie (*Pinus Pinea*) keinen Winterfrost verträgt, gedeiht die Zirbelkiefer (*Pinus Cembra*) noch in Gegenden, wo ihr Stamm und ihre nadelartigen Blätter wochenlang auf -20° erkaltet sind. Das Rhododendron *Ponticum* erfriert bei -2° , das Rhododendron *Laponicum* verträgt die strengste Kälte des nordischen Winters. Wenn man in einer kalten Herbstnacht das mit dicken, fleischigen Blättern ausgestattete *Sempervivum arboreum* aus dem Gewächshaus an einen Ort ins Freie stellt, wo die Temperatur auf -1° herabsinkt, so ist es unrettbar verloren, während die im Bau der fleischigen Blätter übereinstimmenden europäischen Dickblätter, z. B. *Sempervivum montanum* und *Wulfenii*, dieselbe und noch viel größere Kälte nicht nur eine Nacht, sondern viele Wochen

hindurch unbeschadet vertragen. Es gibt auch eine Menge zweijähriger und ausdauernder Pflanzen, die man nicht eigentlich als Dickblätter ansprechen kann, welche aber doch saftstrogende, glatte, äußerlich in keiner Weise gegen Wärmeverlust geschützte, im Herbst dem Boden auflagernde, rosettenförmig gruppierte Blätter ausbilden. Die Blätter dieser Rosetten sind in den Gegenden mit rauhem Winter, zumal dann, wenn wenig oder gar kein Schnee gefallen ist, der strengsten Kälte ausgesetzt, und die Temperatur des saftreichen Gewebes erniedrigt sich nicht selten bis auf -20° , ohne daß dadurch das Protoplasma getötet würde.

Besonders auffallend ist in dieser Beziehung das Löffelkraut (*Cochlearia officinalis*), von dem man erwarten möchte, daß seine saftreichen, glatten, dunkelgrünen Blätter schon nach dem ersten Reif erfrieren, während sie tatsächlich die größten Kältegrade ohne den geringsten Nachteil vertragen. Es gibt wenig Punkte der Erde, wo ein so strenges Winterklima herrscht wie am Strande von Pittekaj an der Nordküste von Sibirien, wo die Vega-Expedition im Jahre 1878/79 überwinterte. Die mittlere Temperatur des Novembers betrug $-16,6^{\circ}$, des Dezembers $-22,8$, des Januars $-25,1$, des Februars $-25,1$, des März $-21,6$, des Aprils $-18,9^{\circ}$. Das waren aber nur die Mittel; an vielen Tagen sank die Temperatur auf -30 und -40° herab, und einmal erreichte das Minimum sogar -46° . Auf der Kuppe eines ziemlich hohen Sandhügels, über welche fast ununterbrochen der eisige Nord- und Nordostwind hinwehte, wurde der Stock eines Löffelkrautes, nämlich der *Cochlearia fenestralis*, beobachtet. Dieser Stock hatte im Sommer 1878 zu blühen begonnen und auch teilweise Früchte ausgebildet. Als der Winter begann, war diese *Cochlearia* aber noch mit unreifen Früchten, mit Blüten und Blütenknospen und mit saftigen grünen Laubblättern besetzt, und man hätte erwarten sollen, daß die saftreichen, zarten Gewebe im Laufe des langen Winters und unter dem Einflusse der anhaltenden Kälte vollständig vernichtet werden würden. Im Sommer 1879 wuchs aber die Pflanze, deren Gewebe doch zweifellos längere Zeit hindurch auf -30° abgekühlt und gefroren waren, wieder weiter und setzte ihr Wachstum dort fort, wo es zu Anfang des Winters unterbrochen worden war, die Blätter funktionierten wieder wie im verflossenen Sommer, die Blütenknospen öffneten sich, und aus den Blattachsen sproßten neue Blütenstände hervor, ein Beweis, daß das Protoplasma dieser Pflanze selbst durch die Temperatur von -46° nicht getötet wurde.

Wenn die Myrten und Orangenbäume bei -2° bis -4° , Zypressen und Feigenbäume bei -7° bis -9° , Zentifolien bei -18° , die Weinreben bei -21° , Eichen und Buchen bei -25° , Pflaumen und Kirschen bei -31° und Apfel- und Birnbäume bei -33° erfrieren, so kann das nur aus der spezifischen Zusammensetzung des Protoplasmas erklärt werden, und man muß annehmen, daß der protoplasmatische Zellenleib in dem einen Falle bei dieser, in dem anderen Falle bei jener Temperatur in der früher angegebenen Weise zerstört wird. Bei manchen Pflanzen spielt auch die Länge der kalten Zeit eine Rolle. Im Gießener Botanischen Garten wurde beobachtet, daß immergrüne Holzpflanzen nur bis zu einer bestimmten Zeit die niedrigen Wintertemperaturen aushalten. Koniferen, Rhododendren und andere erfroren, wenn der Winter mit gleichbleibender Kälte sich viele Monate ausdehnte, während sie kürzere Zeit viel tiefere Temperaturen aushielten.

Es ist früher darauf hingewiesen worden, daß es auch von dem Entwicklungsstadium der Pflanzen abhängt, bei welcher Temperatur das Erfrieren stattfindet. Allgemein bekannt ist, daß die holzigen Stämme und Zweige, die Laub- und Blütenknospen und vor allem die Samen, wenn sie im Herbst wasserarm geworden sind, ganz außerordentlich tiefe Wintertemperaturen

ertragen. In Jakutsk und Werchojansk in Sibirien, wo die mittlere Temperatur des Januars $-42,8^{\circ}$ und -49° beträgt, und wo -62° und $-63,2^{\circ}$, die niedrigsten überhaupt auf der Erde bis jetzt beobachteten Temperaturen, notiert wurden, wo sich monatelang die Schattentemperatur nicht über -30° erhebt, finden sich noch zahlreiche Kräuter und Sträucher, deren oberirdische Teile wochenlang einer Kälte ausgesetzt sind, bei welcher das Quecksilber gefriert; ja, es gedeihen dort noch Birken- und Lärchenbäume (*Betula alba* und *Larix Sibirica*) im kräftigsten Wuchse, und es kann keinem Zweifel unterliegen, daß Holz und Knospen dieser Bäume alljährlich längere Zeit auf -30° erkalten, ohne dadurch zu erfrieren. Übrigens kühlt sich auch das Holz des Wacholders, der Fichten-, Kiefern- und Zirbenbäume in rauhen Lagen der mitteleuropäischen Hochgebirge im Winter regelmäßig auf -10° ab, und die immergrünen Nadeln dieser Gehölze erkalten tief unter den Gefrierpunkt des Wassers, ohne den geringsten Schaden zu erleiden. Desgleichen vertragen die in den Beeren- und Holzapfen der genannten Gehölze eingeschlossenen Samen die tiefsten Temperaturen ohne Nachteil, was um so bemerkenswerter ist, als diese Samen zweier Sommer zur Reife bedürfen und daher das erste Jahr in noch nicht ausgereiftem Zustande den strengen Winter durchmachen müssen. Auch bei anderen Pflanzen sind die Samen über Winter großer Kälte ausgesetzt. So fallen z. B. die Samen des Goldregens (*Cytisus Laburnum*) nicht sofort nach ihrer Reife ab, sondern bleiben an den Flächen der aufgesprungenen Hülften haften, und da sich diese erst im nächsten Frühlinge von den Zweigen lösen, so sinkt die Temperatur dieser Samen über Winter tief unter Null herab. Nichtsdestoweniger behalten sie ihre Keimkraft. Goldregensamen, die im Winter wochenlang unter dem Einfluß einer Temperatur von -15° gestanden hatten, keimten im folgenden Sommer und hatten also durch die Kälte keinen Schaden gelitten. Auch andere Samen, selbst solche aus tropischen Gegenden, welche versuchsweise Temperaturen von -40° ausgesetzt wurden, hatten ihre Keimfähigkeit nicht verloren, und es war daher ihr Protoplasma selbst durch diese große Kälte nicht getötet worden.

Da anderseits bekannt ist, daß die noch nicht vollständig ausgereiften Früchte und Samen des Goldregens und noch mehr jene der tropischen Pflanzen schon bei Erniedrigung der Temperatur auf -2° erfrieren, so geht daraus hervor, daß die in verschiedenen Entwicklungsstadien befindlichen Teile derselben Pflanze in ungleicher Weise durch die Erniedrigung ihrer Temperatur unter den Gefrierpunkt angegriffen werden.

Für die Mehrzahl der Gewächse kann als Regel gelten, daß der Tod infolge des Frostes um so eher eintritt, je jünger und wasserreicher die betreffenden Gewebe sind. Das Laub der Buchen, Hainbuchen und sommergrünen Eichen welkt, schrumpft und vertrocknet im jugendlichen Zustande, wenn nur in einer einzigen Frühlingsnacht die Temperatur unter Null herabgesunken ist, während es im Herbst selbst durch wiederholte Fröste nicht getötet wird. Ja, selbst manche Alpenpflanzen, die, vollständig ausgewachsen, sehr niedere Temperaturen ohne Nachteil vertragen, können Schaden erleiden, wenn sie zur Zeit des kräftigsten Wachstumes von einem Frost überrascht werden. Als einmal Ende Juni auf den bereits schneefrei gewordenen Bergen bei Innsbruck in der Seehöhe von 2000 m die Temperatur auf -6° herabsank, wurden dadurch die jungen, eben erst hervorgesproßten und noch nicht vollständig ausgewachsenen Laubblätter der wimperhaarigen Alpenrose (*Rhododendron hirsutum*) vernichtet; sie bräunten sich und vertrockneten, während die alten ausgewachsenen, aus dem verflossenen Jahr an denselben Stöcken erhaltenen grünen Laubblätter durch diesen Frost keine Veränderung erfahren hatten.

Solche Erscheinungen lassen sich nur durch die Annahme erklären, daß in den jungen, noch nicht ausgewachsenen Pflanzenteilen die Trennung der Salze vom Protoplasma wegen seines größeren Wassergehaltes durch Eisbildung leichter erfolgt als in älteren Zellen.

An diese Erörterung knüpft sich naturgemäß die Frage, ob eine Pflanze bei Temperaturgraden erfrieren kann, welche über dem Gefrierpunkte des Wassers liegen. Von der Mehrzahl der Gärtner wird diese Frage im bejahenden Sinne beantwortet, und es wird dieser Ausspruch auf die Tatsache gegründet, daß tropische Ananasse, buntblättrige Coleus, Basilienkraut, Melonen, Tabak usw. selbst dann welken, verdorren und absterben, wenn sie nur eine einzige Nacht hindurch einer Temperatur von $+2^{\circ}$ ausgesetzt waren. Obschon aber diese Erscheinung mit dem Erfrieren große äußere Ähnlichkeit hat, kann man sie doch nicht Erfrieren nennen; denn die für das Erfrieren des lebendigen Protoplasmas bezeichnendsten Vorgänge, nämlich die Ausscheidung von Wasser aus dem Zellenleibe, das Erstarren dieses Wassers zu Eis und das Nichtzurückkehren dieses Wassers in den Zellenleib, kommen bei den Pflanzen, die unter dem Einflusse von Temperaturen über Null vernichtet werden, nicht zustande. Auf S. 273 ist bereits klargestellt worden, daß dieses sogenannte Erfrieren der Pflanzen bei Temperaturen über Null in Wirklichkeit ein Vertrocknen infolge des Mißverhältnisses zwischen der Transpiration aus den Blättern und der Aufnahme von Wasser durch die Wurzeln ist. Durch die Herabsetzung der Temperatur des Erdreiches wird die saugende Tätigkeit der Wurzeln so beschränkt, daß der Wasserverlust, den die oberirdischen Laubblätter durch die Ausdünstung erleiden, nicht mehr rechtzeitig ersetzt werden kann. Die Blätter werden dann schlaff, schrumpfen, vertrocknen, färben sich schwarz und sehen dann gerade so aus wie Blattgebilde, welche durch den Frost getötet wurden.

Daß hier wirklich nur die Herabsetzung der Temperatur des Erdreiches die Ursache des Absterbens ist, kann durch einen sehr einfachen Versuch gezeigt werden. Wenn man im Herbst, zu einer Zeit, in der die Temperatur der Luft und des Bodens über Nacht bis auf $+1^{\circ}$ oder $+2^{\circ}$ herabsinkt, „sehr empfindliche“, in Töpfen kultivierte Coleus aus dem warmen Gewächshaus ins Freie stellt, ohne die Töpfe gegen Abkühlung zu schützen, so verdorren diese Pflanzen schon am folgenden Tage; wenn man dagegen die Töpfe in warme Sägespäne einsetzt, darüber Baumwolle breitet und so dafür sorgt, daß die Temperatur der Erde in den Töpfen sich über $+7^{\circ}$ erhält, so vertrocknen die in den Töpfen kultivierten Coleus nicht und leiden überhaupt keinen Schaden, selbst dann nicht, wenn die Temperatur der Luft und der von Luft umspülten Blätter im Laufe der Nacht bis $+0,5^{\circ}$ fallen sollte. Indem durch Warmhalten des Bodens die Zuleitung von Wasser zu den transpirierenden Blättern im Gange gehalten wird, können also diese Blätter selbst bei einem Herabsinken der Lufttemperatur auf $+0,5^{\circ}$ vor dem sogenannten „Erfrieren“ geschützt werden. Im Frühjahr erfrieren gelegentlich, zumal kultivierte Pflanzen mit grünen zarten Blättern, schon bei einer Temperatur von 0° oder -1° , die sonst noch nicht gefährlich werden kann. Die Ursache ist in diesem Falle, daß bei klarem Nachthimmel die Blattflächen sich durch starke Ausstrahlung beträchtlich unter die nächtliche Lufttemperatur abgekühlt haben, was so weit gehen kann, daß Eisbildung in den Geweben stattfindet. Es ist bekannt, daß man solche Pflanzen durch nächtliches Bedecken mit Körben oder dergleichen schützen kann, da die Schutzdecke die Ausstrahlung und die damit verbundene stärkere Abkühlung verhindert.

Gibt es auch Mittel, wodurch die Pflanzen vor dem wirklichen Erfrieren geschützt werden können? Die Antwort auf diese Frage ergibt sich aus den obigen

Erörterungen über das Wesen des Erfrierens von selbst. Kann man verhindern, daß die in Frage kommende Pflanze jene Temperatur annimmt, bei welcher ihr Protoplasma getötet wird, so kann dadurch allerdings ein Schutz gegen das Erfrieren geboten werden. Gewöhnlich werden als Schutzmittel schlechte Wärmeleiter benutzt. Man umkleidet die zu schützenden Pflanzenteile mit trockenem Stroh und Reisig oder bedeckt sie mit dürrem Laub. In Gegenden mit kontinentalem Klima sichert man die Weinrebe dadurch vor dem Erfrieren, daß man die unteren Teile der Stöcke mit Erde umgibt. Vielfach werden die Pflanzen auch durch Aufhäufen von Schnee geschützt, und dieser gilt bei den Gärtnern ganz allgemein als ein treffliches Schutzmittel gegen das Erfrieren. Erfahrungsgemäß gehen in der nördlich gemäßigten Zone in schneelosen Wintern eine Menge Pflanzen zugrunde, während sie in schneereichen Wintern die kälteste Zeit ohne Nachteil überdauern. Manche Arten von Gesträuchen und niederen Bäumchen, von denen nur die untere Hälfte eingeschneit ist, während die obere Hälfte den Schnee überragt, findet man nach strengen Wintern von den Zweigspitzen abwärts bis zu jener Stelle erfroren, zu welcher der Schnee emporgereicht hatte. So verhielt es sich z. B. im Wiener Botanischen Garten (1880) mit mehreren Bäumchen der Himalajazeder (*Cedrus Deodara*), mit *Fontanesia jasminoides* und *Diospyros Lotus* und mit den Gesträuchen mehrerer Jasmin- und Indigo-Arten. Aber alle diese Schutzmittel, Reisig, Stroh, Laub, Erde, Schnee, erfüllen ihren Zweck nur in Gegenden, wo die Kälteperiode von verhältnismäßig kurzer Dauer ist. Sie wehren eigentlich nur den ersten Ansturm der Kälte ab, und ihr wesentlichster Vorteil liegt darin, daß die Ausstrahlung der Wärme aus den eingehüllten Teilen hintangehalten wird. Bei langer und ununterbrochen andauernder Kälte sinkt allmählich nicht nur die Temperatur der Hülle, sondern endlich auch jene der umhüllten Körper tief herab, und in Jakutsk würde eine Pflanze, deren Protoplasma bei -10° getötet wird, selbst durch die dickste Hülle aus Stroh, Laub oder Erde nicht mehr geschützt werden können.

Auch in der freien Natur kann von einem natürlichen Schutze gegen das Erfrieren nur bedingt und nur in jenen Gegenden die Rede sein, wo im Laufe des Winters Perioden großer Kälte mit milderer Zeiten abwechseln, und wo der kalten Nacht in der Regel wieder ein wärmerer Tag folgt, was überall der Fall ist, wo die Sonne im Winter nicht wochen-, ja selbst monatelang unter dem Horizont bleibt. Alle Hüllen, die in den gemäßigten Zonen vor dem Erfrieren schützen, sind darum im arktischen Gebiete wertlos. Nicht einmal der Schnee, der, wie schon erwähnt, in der nördlich gemäßigten Zone als eines der besten Schutzmittel gegen große Kälte gilt, vermag im arktischen Gebiete das Eindringen der Kälte zu verhindern. Kane fand die Temperatur im nordwestlichen Grönland bei 63 cm unter der Schneeoberfläche auf $-21,3^{\circ}$ und in 126 cm Tiefe auf $-16,3^{\circ}$ gesunken. Die Untersuchungen, die während der Überwinterung der schwedischen Polarexpedition in der Mosselbai an der nördlichen Küste von Spitzbergen angestellt wurden, ergaben, daß am 14. Februar 1873 bei einer Lufttemperatur von -35° der Schnee 26 cm unter der Oberfläche auf -26° und in einer Tiefe von 35 cm auf -20° gesunken war. Am 23. Februar zeigte der Schnee in einer Tiefe von 30 cm die Temperatur -21° bei gleichzeitiger Lufttemperatur von -32° . Von der Vega-Expedition wurde an der nord-sibirischen Küste am 22. März bei einer Lufttemperatur von $-18,2^{\circ}$ der Schnee in einer Tiefe von 30 cm auf $-16,1^{\circ}$ und der darunterliegende Erdboden auf $-15,1^{\circ}$ erkaltet gefunden. Mitte März zeigte der von den Wurzeln des nordischen Dünengrases (*Elymus mollis*) durchzogene Sandboden in der Tiefe von 63 cm die Temperatur von -20° .

In der nördlich gemäßigten Zone ist das wesentlich anders. Wo die Sonne, wenn auch nur während einiger Stunden des Tages, auf den Schnee einwirkt, wird dieser erwärmt und häufig oberflächlich geschmolzen. Man kann in den Alpen zur Zeit der kürzesten Tage im Dezember bei einer Schattentemperatur der Luft von -10 bis -15° von den besonnten Dächern der hoch oben an den Berghängen gelegenen Heuhütten in der Mittagsstunde das Schmelzwasser herabträufeln sehen. Auf dem Matterhorn beobachteten die drei Schweizer, welche sich entschlossen hatten, zum Behufe meteorologischer Beobachtungen den Winter 1865 auf 1866 in dem 3333 m hoch gelegenen Stationshause zuzubringen, am 18. Dezember 1865 und an mehreren anderen Tagen, daß in der Sonne der Schnee geschmolzen war. Sinkt die Sonne hinter den Bergen hinab, so friert das Schmelzwasser allerdings wieder zu Eis, aber am nächsten Tage wiederholt sich das gleiche Spiel. Während im arktischen Gebiete der in der monatelangen ununterbrochenen Winternacht gefallene Schnee staubartig bleibt, bildet sich in den Gebirgen der gemäßigten Zone infolge des Schmelzens der oberflächlichen Schneeschicht unter dem Einflusse der Sonnenstrahlen und des darauf folgenden Gefrierens in den Nächten eine Eiskruste, die mit der Zeit so mächtig wird, daß man weite Strecken der Schneefilde überschreiten kann, ohne einzubrechen.

Dieser Wechsel von Austauen und Erstarren in den oberen Schichten der winterlichen Schneedecke hat nun den wichtigen Vorteil, daß in den Gegenden, wo im Winter die Sonne scheint, die tieferen Schneeschichten und der den Schnee tragende feste Erdboden niemals so stark erkalten wie im hohen Norden, wo monatelang die Erkaltung fortschreiten kann und, wie die oben angegebenen Zahlen zeigen, auch tatsächlich fortschreitet. Es wird dies durch die in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellten, in den Tiroler Zentralalpen an Minimumthermometern abgelesenen Wintertemperaturen des Bodens bestätigt.

Wintertemperaturen des Bodens in den Zentralalpen Tirols.

Ort der Beobachtung	Exposition	Seehöhe	Tiefe des Bodens	Höhe der überlagernden Schneeschicht	Temperatur
Patscherkofel bei Innsbruck	W.	1921 m	65 cm	100 cm	0,1
Gehänge des Blasers bei Trins	S.	2086 m	40 cm	40 cm	0,2
Gehänge des Habichts im Schnitztale	S.	2100 m	70 cm	100 cm	-0,5
Kuppe des Blasers bei Trins	S.	2239 m	40 cm	30 cm	0,1
Gehänge des Habichts im Schnitztale	S.	2700 m	70 cm	50 cm	-4,7
Gehänge des Habichts im Schnitztale	S.	3000 m	70 cm	50 cm	-7,6
Heiligwasser bei Innsbruck	N.	1261 m	75 cm	200 cm	1,35
Gehänge des Patscherkofels bei Innsbruck	N.	1635 m	60 cm	60 cm	-2,9
Weißspitz im Schnitztale	N.	2100 m	70 cm	50 cm	-5,0
Kuppe des Blasers bei Trins	N.	2239 m	40 cm	50 cm	-4,0
Gafelekar bei Innsbruck	N.	2343 m	40 cm	30 cm	-5,3
Weißspitz im Schnitztale	N.	2400 m	70 cm	50 cm	-7,3
Weißspitz im Schnitztale	N.	2700 m	70 cm	50 cm	-9,3
Weißspitz im Schnitztale	N.	3000 m	70 cm	50 cm	-12,0

Während die Temperatur des von Pflanzenwurzeln durchsetzten Bodens am Winterstandplatze der Vega in Sibirien selbst unter tiefem Schnee auf -10° herabsank, war das von Pflanzenwurzeln durchzogene Erdreich auf den Alpenhöhen Tirols in der Seehöhe von

1000 m an den schneereichen Stellen nicht einmal gefroren und in der Seehöhe von 3000 m, in der nur noch wenige Pflanzenarten fortkommen, sank unter einer Schneedecke von ungefähr einem halben Meter die Temperatur des Bodens nicht unter -12° . Daraus läßt sich aber auch der Schluß ziehen, daß die Schneedecke in den Alpen und überhaupt in den Hochgebirgen der nördlich gemäßigten Zone ein besseres Schutzmittel gegen das Eindringen der Kälte in den Boden ist als in der Arktis, und daß insofern auch die Pflanzen auf den Alpenhöhen durch die Schneedecke verhältnismäßig besser geschützt sind als im hohen Norden, wo der Schnee monatelang der Besonnung entbehrt.

Es gibt in der alpinen Region auch Pflanzen, welche augenscheinlich auf dieses Schutzmittel angewiesen sind, und deren Bau es möglich macht, daß sie den strengen Winter, unter mächtigen Schneemassen geborgen, überdauern. Dahin gehören in erster Linie zahlreiche strauchartige Holzgewächse, für die als Beispiel die auf S. 471 abgebildete Legföhre *Pinus humilis* gelten kann. Die Stämme dieser Föhre sind nicht aufrecht wie die der meisten anderen *Pinus*-Arten, sondern nehmen eine horizontale Lage an, und zwar auch dann, wenn sie eine bedeutende Dicke erreichen. Selbst Stämme im Durchmesser von 20 cm, welche unbedingt imstande wären, in aufrechter Stellung die breitästige Krone zu tragen, wachsen in nahezu paralleler Richtung zum Boden, ohne ihm übrigens unmittelbar aufgelagert zu sein. Dabei ist bemerkenswert, daß an den geneigten Gehängen der Berge das fortwachsende Ende des Stammes immer talwärts gerichtet ist, und ebenso ist hervorzuheben, daß diese eigentümliche Wachstumsweise nicht nur den in den Alpen wild wachsenden, sondern auch den in botanischen Gärten der Niederungen kultivierten, aus Samen gezogenen Legföhren zukommt und daher als eine spezifische Eigentümlichkeit zu gelten hat. Die Äste und Zweige, die sich von dem Hauptstamme bogenförmig aufsteigend erheben, sind ungemein elastisch und legen sich, wenn sie belastet werden, dem Boden an. Da alle Äste der Krone von dem liegenden Hauptstamm aus nach oben gewendet sind, so tritt hier eine Häufung der Äste und Zweige ein, und in manchen alten Legföhrenbeständen sind die vielen Äste so dicht gestellt und so mannigfaltig verchränkt, daß dort ein Fortkommen fast unmöglich ist. Die ausgedehnten Legföhrenbestände sind darum auch gemieden und vereinsamt, und in manche derselben ist wohl, solange sie bestehen, noch keines Menschen Fuß eingedrungen. Wehe auch demjenigen, der das Unglück hat, sich in einem solchen Gehölze zu verirren. Die Schwierigkeiten, mit denen man sich in einem tropischen, von Lianen durchsetzten Urwalde Bahn brechen muß, sind nicht größer als jene, mit welchen man hier beim Vorwärtsdringen zu kämpfen hat. Häufig werden die Legföhren so hoch, daß man selbst aufrecht stehend noch um einige Kopflängen von den obersten, mit Nadeln dicht besetzten Zweigen überragt wird. Man mag wohl, über die querliegenden armsdicken Stämme kletternd, eine Strecke vorwärtskommen, vergebens aber sucht man sich dann weiter zu orientieren und einen Ausblick zu gewinnen. Betritt man einen der bogenförmig aufsteigenden Äste, um über das oberste Zweigwerk hinauszusehen, so beugt sich derselbe mitsamt dem Stamme, dem er entspringt, unter der Last des Körpers zur Erde nieder, und man versinkt wieder in das Meer der dunkelgrünen Legföhrenkronen. Ein solches Niederbeugen erfolgt aber auch unter der Last des Winterschnees; ja, die sich häufenden Schneemassen drücken dermaßen auf die bogenförmig aufsteigenden elastischen Äste, daß selbst die obersten mit Nadeln besetzten Verzweigungen platt auf die Erde zu liegen kommen. Wenn sich dann über die gewöhnliche Schneelage allenfalls auch noch der Schnee von Grundlawinen ausbreitet, so verstärkt sich der Druck so gewaltig, daß die benadelten

Zweige dem Boden angepreßt werden. Das kann so weit gehen, daß selbst manche Zweigspitzen, die im Sommer 1 m hoch über dem Erdboden standen, im Winter zufolge des Schneedrucks dem Erdboden unmittelbar aufliegen. Schmilzt dann im kommenden Frühling der Schnee ab, und werden die Äste und Zweige allmählich entlastet, so heben sich diese vermöge ihrer außerordentlichen Elastizität empor und nehmen wieder jene Lage an, die sie im verflossenen Sommer besaßen. Es erinnert dieser Vorgang, der sich hier von selbst vollzieht, lebhaft an die Manipulationen der Gärtner, welche die Rosenbäumchen im Herbst auf die Erde niederbeugen, mit einem schlechten Wärmeleiter bedecken, in dieser Lage den ganzen Winter über erhalten und erst im nächsten Frühling wieder emporheben und an aufrechten Pfählen anbinden. Häufig sieht man im Sommer an den mehr als 1 m hoch über dem Erdboden schwebenden Enden der Legföhrenzweige die alten Nadeln mit Erde und kleinen Steinchen verklebt, und wer von den oben geschilderten Vorgängen keine Kenntnis hat, begreift nicht recht, wie diese kleinen Steinchen an die Zweigenden gekommen sind. Tatsächlich bildet die vom Schmelzwasser durchfeuchtete lehmige Erde, der die Zweige über Winter aufliegen, das Klebemittel, und dasselbe ist so wirksam, daß selbst Steinchen von mehr als 1 cm Durchmesser den alten Nadelbüscheln anhaften. Ähnlich wie die Legföhren verhalten sich auch noch mehrere andere alpine Sträucher, wie z. B. der Zwergwacholder (*Juniperus nana*) und die Alpenerle (*Alnus viridis*). Auch die Alpenrosengebüsche werden, wenn auch nicht so stark, durch den Schnee gegen den Boden gedrückt und sind dort gegen große Kälte und insbesondere gegen starke Ausstrahlung gesichert.

In der Waldregion erscheint als ein treffliches Schutzmittel häufig auch das dürre Laub, das von den Bäumen fällt und sich über den Boden und die niederen Gewächse ausbreitet. Am mächtigsten ist diese Laubschicht in den mitteleuropäischen Buchenwäldern. Die von ihr eingehüllten Stöcke des Waldmeisters, des Lungenkrautes, des Leberblümchens, der Haselwurz, des Sanikels und der Waldsteinie (*Asperula odorata*, *Pulmonaria officinalis*, *Hepatica triloba*, *Asarum Europaeum*, *Sanicula Europaea* und *Waldsteinia geoides*) erhalten sich darunter selbst in sehr strengen Wintern, ohne zu erfrieren, mit grünen Blättern bis in den nächsten Frühling.

Wieder andere Pflanzenarten erscheinen dadurch gegen große Kältegrade geschützt, daß sie sich den Winter hindurch sozusagen unter die Erde zurückziehen. Zahlreiche Zwiebel- und Knollengewächse erzeugen mit ihren oberirdischen grünen Blättern in den warmen Sonnenstrahlen des Sommers organische Verbindungen, leiten diese aber sofort in die Tiefe zu den unterirdischen Teilen des Stoces. Dort werden aus den zugeführten Stoffen dicke Stengel und Knollen, fleischige, schuppenförmige Niederblätter und auch die Anlagen für neue Laubblätter und Blüten erzeugt, welche aber in demselben Jahre nicht mehr oberirdisch hervorkommen. Über Winter bleiben diese Gebilde in der Erde begraben und sind dort so wie die Wurzeln gegen zu weit gehende Erkaltung geschützt. Erst nach Ablauf der Frostperiode wachsen dann die schon im verflossenen Jahr angelegten Blütenstengel und Laubblätter empor, um zu ergrünen, zu blühen, zu fruchten und im Sonnenlichte neuerdings organische Stoffe für unterirdische Zwiebeln, Knollen und Wurzelstöcke zu bilden. Es ist interessant, zu sehen, daß Zwiebeln und Knollen desto tiefer in der Erde stecken, je mehr der Standort der Ausstrahlung und Erkaltung ausgesetzt ist, je mehr die Gefahr droht, daß im Winter nur eine leichte Schneelage den Boden bedeckt, und je größer die Wahrscheinlichkeit ist, daß selbst diese von Stürmen weggefegt wird. Während beispielsweise die Zwiebeln und Knollen

Reisföhren im Tiroler Gophgebirge. (Zu S. 460.)

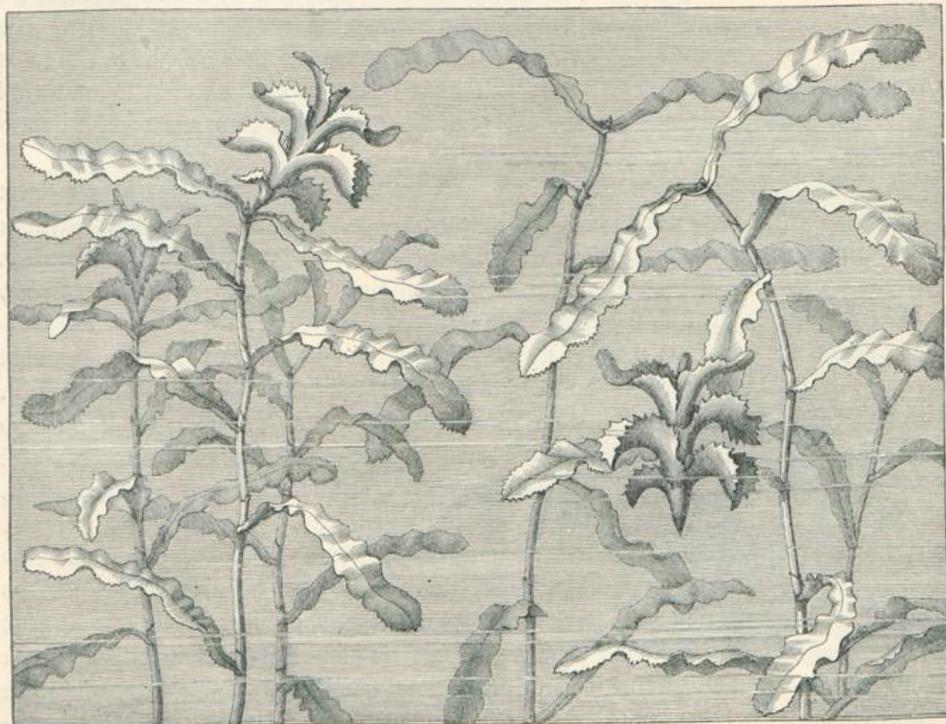


des Gelbsterne und der Hohlwurz (*Gagea lutea* und *Corydalis cava*), wenn sie im schwarzen Humus der Buchenwälder unter dürrer Laube wachsen, nur wenige Zentimeter tief unter der Oberfläche liegen, sind sie auf offenen Wiesen erst in drei- bis vierfach größerer Tiefe zu erreichen. Die Lage der Knollen der Zeitlose (*Colchicum autumnale*) kann geradezu als ein Anhaltspunkt gelten, um zu bestimmen, wie tief in einer bestimmten Gegend der Boden einfriert; denn regelmäßig erscheinen diese in Tiefen eingebettet, zu denen der Frost des Winters nicht mehr vordringt.

Auch an Wasserpflanzen wird ähnliches beobachtet. In den stehenden Gewässern der Tümpel und Teiche findet tatsächlich ein Zurückziehen der Pflanzen vor der andringenden Kälte des Winters, eine förmliche Flucht in die Tiefe statt. Die Stöcke der Wasserschere (*Stratiotes aloides*), einer Wasserpflanze, die, wie schon ihr lateinischer Name sagt, einer Aloe nicht unähnlich sieht, erhalten sich im Frühling und Frühsommer schwebend nahe der Oberfläche im Wasser. Sie erzeugen dort neue schwertförmige Blätter und entwickeln Blüten, die über die Oberfläche des Wassers emportauchen. Nachdem die Blütezeit vorüber ist, sinkt die Pflanze in die Tiefe, um hier ihre Früchte und Samen auszureifen und Knospen für neue Tochterpflanzen anzulegen. Etwa um das Ende des Augustmonats hebt sie sich wieder in die obersten Wasserschichten empor. Die inzwischen herangewachsenen Tochterpflanzen gleichen bis auf die geringere Größe ganz der Mutterpflanze; sie haben sich aus den Knospen am Ende verlängerter, zwischen den Rosettenblättern hervorgeschobener Langtriebe entwickelt und umgeben jetzt, wie die Küchlein die Henne, die stattliche Mutterpflanze. Im Laufe des Herbstes faulen nun die Sprosse, durch welche die Tochterpflanzen mit der Mutterpflanze bisher in Verbindung waren, ab, und alle isolierten Rosetten sowie die Mutterpflanze selbst sinken neuerdings in den Teichgrund hinab. An Stellen, wo es kaum jemals zum Frieren kommt, überwintern sie und kommen erst wieder im nächsten Frühling zur Oberfläche. Das krausblättrige Laichkraut (*Potamogeton crispus*; s. Abbildung, S. 473) entwickelt im Spätherbst nahe dem Wasserpiegel Sprosse, die mit kurzen Blättern besetzt sind, und bevor noch die oberste Wasserschicht gefriert, lösen sich diese Sprosse von dem alten Stengel ab, sinken in die Tiefe und bohren sich dort mit dem spitzen unteren Ende in den Schlamm ein. Da unten kommt es wohl niemals zur Eisbildung, und die Sprosse sind in ihrem Winterquartier gegen die Nachteile der großen Kälte trefflich geschützt.

Für Bäume und Sträucher, deren Stämme nicht wie jene der Legföhren über den Boden hingestreckt sind, sondern Säulen gleich von der Erde emporwachsen, und deren Kronen mächtige Schneeablagerungen noch weit überragen, kommt die Bedeckung des Bodens mit Schnee, wie die Einhüllung mit Erde und Laub weniger in Betracht. Bei vielen von ihnen löst sich das Laub, das unter dem Einflusse der winterlichen Kälte Schaden leiden würde, in der schon früher geschilderten Weise (vgl. S. 273) von den Zweigen ab, nachdem vorher alles, was in diesem Laube von brauchbaren Stoffen noch vorhanden war, in die Stämme abgeleitet wurde. Die entblätternen Zweige sowie die Knospen für das nächste Jahr bleiben nun freilich oberirdisch zurück, sind dort der Winterkälte ausgesetzt und sollen befähigt sein, diese ohne Nachteil zu ertragen. Im Vergleich zu dem abgeworfenen Laube sind die Zweige mit einer viel derberen Rorkschicht bedeckt, und es macht den Eindruck, als ob eine solche Hautschicht die von ihr überkleideten Teile gegen Kälte auch besser schützen könnte, als es die Oberhaut der Laubblätter vermocht hätte. Für eine sehr kurze Kälteperiode mag das auch der Fall sein, für längere Zeit ist aber selbst die dickste Haut nicht imstande, die Erkaltung

der überkleideten Teile hintanzuhalten, so wenig wie die Borke an älteren Ästen und Stämmen. In lange andauernden Wintern mit ununterbrochener strenger Kälte nimmt auch das Innere der Zweige und Stämme die Temperatur der Umgebung an, und es hängt lediglich von der Widerstandsfähigkeit des Protoplasmas ab, ob die eintretende Erkaltung tödlich wirkt oder nicht. Aus verschiedenen Erscheinungen mag man den Schluß ziehen, daß diese Widerstandsfähigkeit desto größer ist, je mehr das Protoplasma in den Zellen der Zweige und Stämme Gelegenheit fand, sich im Sommer und Herbst entsprechend



Ablösung der zur Überwinterung unter Wasser bestimmten Sprosse des krausblättrigen Laichkrautes (*Potamogeton crispus*). (Zu S. 472.)

vorzubereiten. War der Sommer warm und der Herbst mild, wurde der Eintritt der ersten Fröste sehr hinausgeschoben, und fand die Pflanze Zeit, sich für den Winter vorzubereiten und langsam einzupuppen, so erfrieren die Zweige nicht; war der Sommer kalt und naß, traten schon zeitig im Herbst Fröste ein, konnte das Betriebswasser nicht rechtzeitig entfernt werden, ist das Holz, wie die Gärtner sagen, noch nicht ausgereift, so kann ein halbwegs strenger Winter den Tod der holzigen Zweige im Gefolge haben, derselben Zweige, von denen vielleicht frühere viel strengere Winter ohne Nachteil überstanden wurden.

Immer wieder kommt man demnach darauf zurück, daß das Erfrieren oder Nichterfrieren einer Pflanze davon abhängt, ob der Zustand des Protoplasmas ein solcher ist, daß infolge der eintretenden Abkühlung sein molekularer Aufbau dauernd zerstört wird oder nicht, und daß eigentlich der wirksamste Schutz in der Konstitution des Protoplasmas selbst gesucht werden muß.

6. Die Schutzmittel der Pflanzen gegen Wärmeverlust.

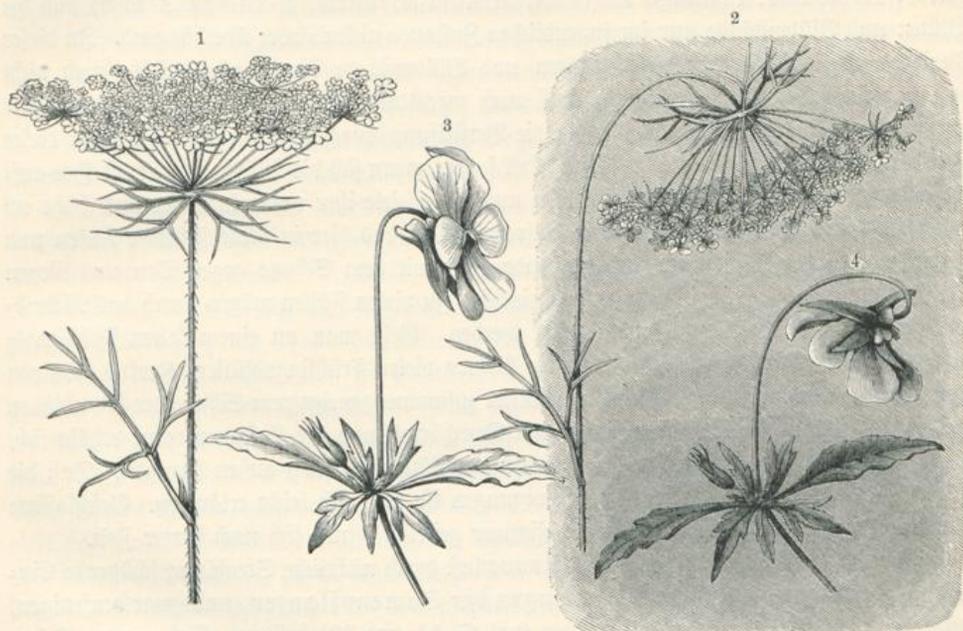
Wenn es für die Pflanzen wichtig ist, daß ihnen die Wärme in einem günstigen Maße zukommt, so ist auch zu erwarten, daß es weder an Einrichtungen fehlt, die gegen ein Übermaß von Wärme schützen, ebenso wie auch Vorforge getroffen ist, damit die einmal gewonnene Wärme nicht wieder verloren geht. Es würde der Ökonomie der Pflanze nicht entsprechen, wenn ein an der Sonne stehender Pflanzenstock alle Wärme, die er im Laufe des Tages gewonnen hat, in der darauffolgenden Nacht durch Ausstrahlung wieder einbüßen müßte. Das Wachstum erfolgt bekanntlich auch im Laufe der Nacht, ja, manche Pflanzenteile wachsen sogar in der Nacht mehr als am Tag, und es würde für sie ein zu weit gehender Wärmeverlust in der Nacht von entschiedenstem Nachteil sein, da die Temperatur dann unter das Mindestmaß für gewisse Lebensvorgänge sinken könnte.

In der That fehlt es nicht an Einrichtungen, die dazu dienen, die Pflanzen vor einem zu weit gehenden Verluste der einmal gewonnenen Wärme zu schützen. Insoweit dieselben mit den Einrichtungen zusammenfallen, welche die Transpiration der Pflanzen regeln, wurden sie bereits an der betreffenden Stelle (S. 222) gewürdigt. Diejenigen Ausbildungen aber, die als Schutzmittel gegen die Gefahren eines übermäßigen Wärmeverlustes durch Ausstrahlung Interesse beanspruchen, und bei welchen die Beziehungen zur Transpiration gar nicht oder doch nur in zweiter Linie hervortreten, sind im nachfolgenden übersichtlich zusammengestellt.

Zunächst ist in dieser Beziehung der Blüten zu gedenken, die verhältnismäßig sehr rasch wachsen, deren Teile dabei viel Wärme beanspruchen, für die aber manche Einrichtungen, die bei Laubblättern am Platze sein mögen, als Schutzmittel gegen Wärmeverlust nicht gut passen, weil dadurch andere den Blüten gestellte Aufgaben eine Beeinträchtigung erfahren würden. Und doch bedürfen gerade die Blüten eines ausgiebigen Schutzes gegen Wärmeverlust. Eine Hemmung des Wachstums der Blumenblätter, eine Störung der Entwicklung des Pollens in den Pollenblättern, eine Verhinderung der Honigausscheidung usw. könnte nur zu leicht die Befruchtung und Fruchtbildung zurückhalten, und die ganze Jahresarbeit der betreffenden Pflanze wäre dann sozusagen umsonst geleistet. Nun entwickeln sich aber gerade an jenen Stellen, die tagsüber besonnt sind, wo aber in der Nacht durch Strahlung viel Wärme verloren geht, das ist an offenen, nicht beschatteten Plätzen, die meisten Blüten, und dort ist auch die Gefahr vorhanden, daß die Blüten und Blütenknospen jene Wärme, die sie im Laufe des Tages gewonnen haben, im Laufe der Nacht wieder einbüßen. Um das zu vermeiden, sind in vielen Fällen die Blütenknospen und auch die geöffneten Blüten hängend, glockenförmig und röhrenförmig, oder es wölben sich Blätter in Gestalt eines Helmes, einer Kapuze oder eines Schirmes über die Staubgefäße und Fruchtknoten, wodurch dann die genannten inneren Teile der Blüte wie in einer Nische oder Höhlung geborgen sind. In diesen verborgenen Winkeln sind sie gegen Wärmeverlust verhältnismäßig gut geschützt, und es findet wenigstens eine Ausstrahlung der Wärme gegen den Nachthimmel von diesen Teilen nicht statt. Nur die Hüllen, die sich über sie als schützendes Dach ausspannen, verlieren während der Nacht einen großen Teil der tagsüber gewonnenen Wärme; diese werden aber dadurch nicht so sehr gefährdet, sie haben bereits ihre normale Größe erreicht und bedürfen der Wärme nicht zum weiteren Wachstum, auch sind sie häufig mit luftgefüllten Haarbildungen bekleidet, mit trockenem, häutigem Saum umgeben oder ganz in trockene, pergament- oder papierartige

Schuppen umgewandelt, in welchem Falle sie infolge des Wärmeverlustes keinen weiteren Schaden erleiden können. Die Luft in den überhängenden Glockenblumen ist selbst am Morgen vor Sonnenaufgang noch um 1—2 Grad wärmer als die Temperatur der umgebenden Luft (vgl. S. 436), sie erhält sich hier, wie unter einer Sturzglocke abgesperrt, ziemlich unverändert die Nacht hindurch, was jedenfalls den dort geborgenen wärmebedürftigen Antheren, Narben und Honigbehältern zugute kommt.

In vielen Fällen nehmen die Blütenknospen und jungen Blüten nur periodisch eine umgekehrte Lage an. Besonders auffallend sind in dieser Beziehung mehrere Doldenpflanzen,



Periodisches Nickenwerden der Blüten und Blütenstände: 1 die Dolbe der Möhre in der Tagstellung, 2 dieselbe Dolbe in der Nachtstellung; 3 die Blüte des Stiefmütterchens in der Tagstellung, 4 dieselbe Blüte in der Nachtstellung.

wie z. B. die Sicheldolbe und die Möhre (*Falcaria Rivini* und *Daucus Carota*). Kaum ist die Sonne hinabgesunken, so biegen sich an diesen Arten die Stengel, welche junge Blüten dolden tragen, hakenförmig um, so daß die Blütenknospen, die tagsüber der Sonne zugewendet waren, jetzt gegen die Erde sehen und die fein zerspalteten Hüllblätter sich wie ein Schirm über der nickenden Dolbe ausbreiten. Diese fein gespalteten Hüllen strahlen in der Nacht Wärme aus, ohne Nachteil zu erleiden, die unter ihnen befindlichen Blütenknospen dagegen sind in der geschilderten Weise gegen die für sie verderbliche nächtliche Strahlung geschützt, und es bleibt ihnen die am Tage aufgenommene Wärme wenn auch nicht vollständig, so doch größtenteils erhalten. Mit dem nächsten Sonnenaufgange heben sich die jungen Dolden rasch empor; die hakenförmigen Stiele der Dolden richten sich straff auf, und die Blütenknospen sind wieder der Sonne ausgesetzt, wie das an der oben eingeschalteten Abbildung der gemeinen Möhre (*Daucus Carota*), Fig. 1 und 2, zu sehen ist. Später, wenn einmal die Befruchtung stattgefunden hat und die jungen Früchte sich ausbilden, ist die Notwendigkeit, die Staubgefäße und Narben gegen Ausstrahlung zu schützen, nicht mehr vorhanden,

und dann unterbleibt auch das periodische Nickenwerden der Dolden bei hereinbrechendem Abend. Ähnlich wie die genannten Doldenpflanzen verhalten sich auch die jungen Blütenköpfe mehrerer Skabiosen (z. B. *Scabiosa lucida* und *Columbaria*) und die einzelnen Blüten des Stiefmütterchens (*Viola tricolor*), welche in ihrer Lage bei Tag und Nacht in der Abbildung, S. 475, Fig. 3 und 4, neben den Dolden der Möhre dargestellt sind.

Es muß übrigens ausdrücklich hervorgehoben werden, daß die nickende oder gestürzte Lage der Blüten und Blütenstände bisweilen auch auf andere Gründe zurückzuführen ist. Bei mehreren Mohnen, Korbbütlern, Wegerichen, Lippenbütlern, Steinbrechen (z. B. *Papaver*, *Leontodon*, *Plantago maritima*, *Mentha silvestris*, *Saxifraga aizoon*) sind die Blüten und Blütenstände nur im jugendlichen Zustande nickend oder überhängend. In dieser Periode haben die Träger dieser Blüten und Blütenstände ihre normale Höhe noch nicht erreicht. Das Gewebe dieser Stiele muß noch wachstumsfähig bleiben, ist noch weich und saftreich, und die aufrechte Lage sowie die Versteifung durch feste Gewebe würde in dieser Zeit nichts weniger als vorteilhaft sein. Erst später, wenn sich die Blüten öffnen, ist ihre aufrechte Lage von Vorteil; dann aber haben auch die Stiele ihre normale Länge und Höhe erreicht und sind versteift und dauernd aufrecht. Daß das hier in Rede stehende Nicken und Nickenwerden der Blüten und Blütenstände auch mit dem Schutze gegen Tau und Regen im Zusammenhange steht, ist sehr wahrscheinlich. In vielen Fällen mögen durch das Nickenwerden alle drei Vorteile zugleich erreicht werden. Geht man an einem kalten Frühlingmorgen in den Garten, so findet man die Blüten vieler Frühlingbüttler, Krokus, Tulpen und anderer, geschlossen, d. h. ihre Blütenblätter zusammengeneigt zum Schutze der Staubfäden und Fruchtknoten. Kommt die Sonne zum Durchbruch und die Lufttemperatur erhöht sich, dann öffnen sich die Blüten, indem ihre Blumenblätter sich nach außen bewegen. Daß die höhere Temperatur die Ursache dieser Bewegungen ist, läßt sich leicht erläutern. Geschlossene Tulpen oder Krokusblüten, ins warme Zimmer gestellt, öffnen sich nach kurzer Zeit.

Ein sehr auffallende, gegen den Wärmeverlust durch nächtliche Strahlung schützende Einrichtung beobachtet man an den Keimlingen der Samenpflanzen, und zwar denjenigen, welche zwei Keimblätter oder Kotyledonen (vgl. S. 11 und 12) besitzen. Solange der Keimling, von schützenden Häuten umgeben, scheinbar im Samen ruht, sind die zwei Keimblätter mit ihrer oberen Seite aufeinandergelegt; später, wenn die Keimung stattgefunden, wenn das Würzelchen in die Erde eingedrungen und die Samenhülle abgestoßen ist, rücken die beiden Keimblätter auseinander, kehren die obere Seite dem Himmel zu, und der oberirdische Teil des Keimlinges ist jetzt einem aufgeschlagenem Buche vergleichbar. In dieser Lage sind die Breitseiten der Keimblätter den Sonnenstrahlen ausgesetzt, werden auch möglichst durchleuchtet und durchwärmt, und es kann in ihnen, wenn sie grün gefärbt sind, auch die Bildung organischer Stoffe aus unorganischer Nahrung stattfinden. Für derlei grüne Keimblätter wäre es nun gewiß ein großer Nachteil, wenn sie die im Laufe des Tages empfangene Wärme in der folgenden Nacht wieder teilweise, ja vielleicht ganz verlieren müßten. Zumal in Gegenden, wo die Mehrzahl der Samen bei niedriger Temperatur nach Ablauf des Winters, in einer Zeit, in welcher die Nächte noch lang dauern, keimt, muß der Wärmeverlust durch nächtliche Strahlung aus den Keimblättern vermieden sein. Das geschieht nun dadurch, daß sich die auseinandergeschlagenen und mit ihren Breitseiten dem Himmel zugewendeten Keimblätter nach Untergang der Sonne aneinanderlegen und wieder jene Lage annehmen, welche sie seinerzeit im ruhenden Samen innehatten. Dadurch sind jetzt beide Keimblätter mit ihren schmalen

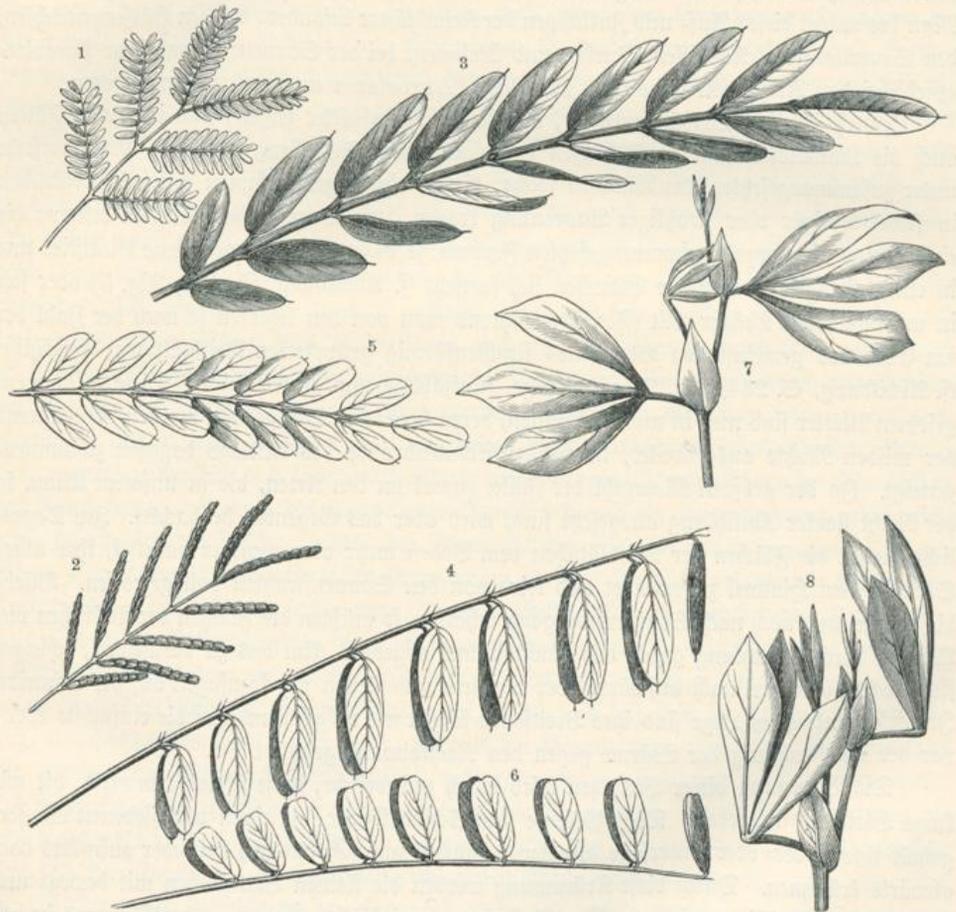
Rändern dem Himmel zugewendet, und der Wärmeverlust durch nächtliche Strahlung ist auf ein möglichst geringes Maß herabgesetzt. Durch diese Bewegung der Keimblätter wird auch noch der Vorteil erreicht, daß die kleinen Laubblättchen, die an der ersten Anlage des Stengels zwischen den Keimblättern sichtbar werden, über Nacht zugedeckt sind. Kommt dann der Morgen, und ist die Gefahr des übergroßen Wärmeverlustes vorüber, so klappen die Keimblätter wieder auseinander, um sich so neuerdings in den wärmenden Strahlen möglichst ausgiebig zu sonnen. Man beobachtet dieses Auf- und Zuklappen der Keimblätter besonders bei den Hülsengewächsen, den Sauerfleerarten, Kürbissen, Gurken und Melonen, bei der Sonnenrose und dem Paradiesapfel, bei den Arten von *Mimulus*, *Mirabilis*, *Agrostema* und noch vielen anderen.

Durch ähnliche Lageänderungen, wie sie die Keimblätter zeigen, sind in vielen Fällen auch die Laubblätter mancher Pflanzen gegen nächtliche Strahlung geschützt. Man versteht unter zusammengesetzten Laubblättern solche, die an einem gemeinsamen Stiele Teilblättchen in fiedelförmiger oder strahliger Anordnung tragen, und unterscheidet von den ersteren die einfach und die doppelt zusammengesetzten Formen, je nachdem der gemeinsame Blattstiel nur in einen einzigen Träger der Blättchen sich fortsetzt (s. Abbildung, S. 478, Fig. 5) oder sich in mehrere solche Träger teilt (Fig. 1), während man von den letzteren je nach der Zahl der am Ende des gemeinsamen Blattstiels strahlenförmig gruppierten Teilblättchen dreizählige (s. Abbildung, S. 254, Fig. 7), vierzählige, fünfzählige usw. unterscheidet. Diese zusammengesetzten Blätter sind nun in manchen Fällen, deren bereits S. 254 gedacht worden ist, während der milden Nächte ausgebreitet, im heißen Sonnenbrande des Mittags dagegen zusammengelegt. In der größten Mehrzahl der Fälle, zumal an den Arten, die in unserem Klima in der Nacht starker Abkühlung ausgesetzt sind, wird aber das Gegenteil beobachtet. Im Tageslichte stehen die Flächen der Teilblättchen dem Boden mehr oder weniger parallel, ihre obere Seite ist dem Himmel zugewendet und wird von den Sonnenstrahlen voll getroffen. Blicke diese Lage auch noch nach Sonnenuntergang erhalten, so müßten die Flächen der Blättchen viel Wärme durch Strahlung gegen den Nachthimmel abgeben. Um das zu vermeiden, schlagen sich die Teilblättchen nach aufwärts oder abwärts und stellen sich sozusagen auf die Schneide. In dieser senkrechten Lage sind ihre Breitseiten so gut wie möglich und auf die einfachste Weise vor der Ausstrahlung der Wärme gegen den Nachthimmel geschützt.

Die Bewegung dieser Blättchen wird durch zylindrische, zarte Gelenke bewirkt, die wie kurze Blattstiele aussehen. Diese Gelenke sind Schwellkörper, die einen verschiedenen Wassergehalt ihrer Ober- oder Unterseite annehmen können und sich dadurch entweder aufwärts oder abwärts krümmen. Durch diese Krümmung werden die kleinen Blattflächen mit bewegt und ihre Lage zweckmäßig verändert. Den Anstoß zur periodischen Änderung des Turgors in den Gelenkwülsten bildet die Abnahme des Lichtes nach Sonnenuntergang, und da das dadurch bewirkte Heben und Senken der Blättchen mit dem Aufsuchen der nächtlichen Schlafstätten von Seiten der Vögel und anderer Tiere zusammenfällt, so hat man die besprochene Erscheinung auch als Schlafbewegung gedeutet und bezeichnet.

Bei einem Teile der Pflanzen, deren Blättchen bei eintretender Dunkelheit nach Sonnenuntergang eine Schlafstellung annehmen, bewegen sich die an der Basis mit Gelenkwülsten ausgestatteten Blättchen nach aufwärts, bei anderen in entgegengesetzter Richtung nach abwärts. Bei den dreizähligen Blättern, als deren Vorbild das Kleeblatt dienen kann, ist die Bewegung nach aufwärts die Regel. Nach erfolgter Aufrichtung sind die Teilblättchen entweder alle drei nahezu unter rechtem Winkel gegen den Horizont gerichtet, oder das Endblättchen

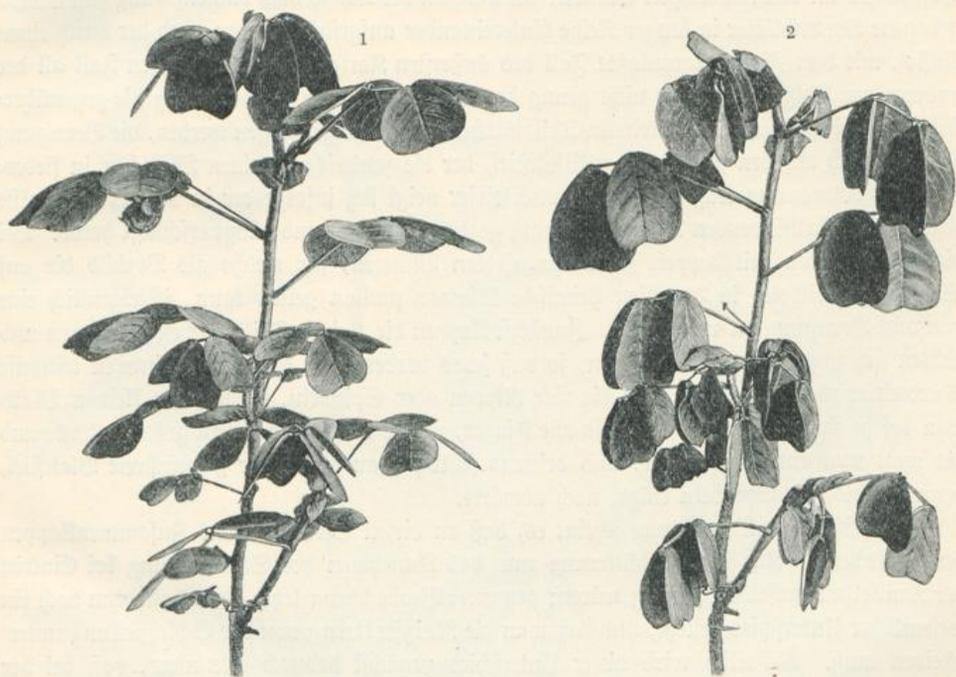
hat sich noch etwas mehr als die beiden seitlichen aufgebogen. Ein sehr hübsches Beispiel hierfür gibt der Schotenflee (*Tetragonolobus siliquosus*), welcher in der untenstehenden Abbildung durch Fig. 7 und 8 dargestellt ist, dann *Desmodium penduliflorum* sowie verschiedene Arten der Gattungen Hornflee, Kopfflee, Honigflee und Schneckenflee (*Lotus*, *Trifolium*, *Melilotus*, *Medicago*). Gefiederte Blätter, deren Teile sich aufrichten und ähnlich wie die



Lageänderungen der Teilblättchen zusammengesetzter Blätter: 1 Blatt der *Mimosa Lindheimeri* in der Tagstellung, von oben gesehen, 2 daselbe in der Nachtstellung; 3 Blatt der *Amorpha fruticosa* in der Tagstellung, 4 daselbe in der Nachtstellung; 5 Blatt der *Coronilla varia* in der Tagstellung, 6 daselbe in der Nachtstellung; 7 Blatt des *Tetragonolobus siliquosus* in der Tagstellung, 8 daselbe in der Nachtstellung. (Zu S. 477—479.)

Blätter eines zugeklappten Buches aneinanderlegen, findet man an den zahlreichen kleinen, struppigen Mimosensträuchern Perus, von welchen eine Art, *Mimosa Lindheimeri*, in der obenstehenden Abbildung durch Fig. 1 und 2 in der Tag- und Nachtstellung wiedergegeben ist, an mehreren echten Akazien, an den Arten der Gattung *Gleditschia* und an der europäischen Kronwicke (*Coronilla varia*), von welcher die Fig. 6 zeigt, wie sich die aufgerichteten Blättchen sehr regelmäßig paarweise aneinanderlegen. Ebenso häufig beobachtet man Fälle, wo sich die Teile gefiederter oder gefingierter Blätter nach Sonnenuntergang nach abwärts

schlägen. Als Beispiel für diese Abteilung wurde in die Abbildung auf S. 478 das Blatt einer der zahlreichen amerikanischen Amorphen (*Amorpha fruticosa*), Fig. 3 und 4, aufgenommen. Man findet solche in der Nacht herabgeschlagene Blättchen aber auch sehr auf-fallend an den verschiedenen Indigo- und Süßholzarten (*Indigofera* und *Glycyrrhiza*), an den Sophoren (z. B. *Sophora alopecuroides*), an *Abrus precatorius*, *Averrhoa Caram-bola*, *Gymnocladus Canadensis*, *Robinia Pseudacacia* und an den Arten der Gattung Sauerflee (*Oxalis*; vgl. S. 171), sowie bei der unten abgebildeten, schon früher (S. 152) erwähnten, gegen Lichtwechsel sehr empfindlichen *Amicia Zygomeris*.



Amicia Zygomeris: 1 in Tagstellung, 2 in Schlafstellung bei Eintritt der Dunkelheit.

Mit Rücksicht auf die Ausstrahlung ist es gleichgültig, ob sich die Teilblättchen aufrichten oder herabschlagen; die Hauptsache ist, daß sie ihr Profil dem Nachthimmel zuwenden, und das geschieht in allen oben erwähnten Fällen. Es ist aber am Platze, hier darauf aufmerksam zu machen, daß durch die periodische Lageänderung der Laubblattflächen neben dem Schutze gegen zu weit gehenden Wärmeverlust auch noch andere Vorteile erreicht werden können. So ist in den Tropen, wo wegen gleichbleibender Nachttemperatur die Ausstrahlung gering ist, die Schlafstellung wahrscheinlich ein Schutz gegen Taubildung.

Einige Pflanzen, deren Blättchen bei Eintritt der Dunkelheit die Schlafstellung annehmen, zeigen ähnliche Bewegungen auch am hellen Tage, sobald sie erschüttert oder betastet werden, und zwar unter diesen Umständen viel rascher als bei Eintritt der Dunkelheit. Es genügt die leiseste Berührung mit dem Finger, ja selbst die Erschütterung durch einen mäßigen Luftstrom, um die Blättchen dieser Gewächse zum Zusammenklappen zu bringen. Einige Schmetterlingsblütler (z. B. *Smithia sensitiva* und *Aeschynomene Indica*) sowie

mehrere Mimosen (*Mimosa pudica*, *sensitiva*, *casta*, *dormiens*, *humilis*, *viva*) sind besonders empfindlich. Die Erscheinung macht ganz den Eindruck, als ob die Pflanzen durch die Berührung erschreckt zusammensfahren und sie in irgendeiner Weise fühlen oder empfinden, was die älteren Botaniker auch veranlaßte, diese Gewächse *Sensitive* zu nennen.

Fällt bei beginnendem Regen der erste Regentropfen auf eines der ausgebreiteten Blättchen, so klappt das betroffene Blättchenpaar augenblicklich zusammen und nimmt die sogenannte Reizstellung ein; die Nachbarn machen diese Bewegung zwar rasch nach, aber doch immer in einer bestimmten Reihenfolge. Unwillkürlich wird man bei dem Ansehen dieses Vorganges an das Kinderspiel erinnert, bei welchem der Länge nach rinnenförmig zusammengebogene Kartenblätter in langer Reihe hintereinander aufgestellt werden, und der durch einen Anstoß mit dem Finger veranlaßte Fall des äußersten Kartenblattes im Nu den Fall all der anderen zur Folge hat. Aber nicht genug damit, daß durch die Erschütterung die gegenüberstehenden, bisher flach ausgebreiteten Teilblättchen zusammengeschlagen werden, die Bewegung setzt sich auch auf den gemeinsamen Blattstiel, der die zahlreichen kleinen Blättchen in fiederförmiger Anordnung trägt, fort, und auch dieser neigt sich infolge der in dem Gelenkwulste seiner Basis stattfindenden Turgoränderung gegen den Boden und hängt erschlafft herab. Bei diesen *Sensitiven* mit doppelt zusammengesetzten Blättern, für welche als Vorbild die auf S. 481 abgebildete, in Brasilien heimische *Mimosa pudica* gelten kann, ist eigentlich eine dreifache Bewegung zu verzeichnen. Zunächst klappen die kleinen Teilblättchen zusammen und richten sich zugleich etwas nach vorn, so daß jedes vordere von dem nächst hinteren teilweise überdeckt wird, dann rücken auch die vier Rippen oder Spindeln, die mit den kleinen Blättchen besetzt sind, aneinander, etwa so wie Finger, welche man ausgespreizt gehalten hatte und die man nun einander nähert, und drittens senkt sich auch noch der gemeinsame Blattstiel, der vorn die vier Spindeln trägt, nach abwärts.

Bei flüchtiger Betrachtung scheint es, daß an diesen *Sensitiven* das Zusammenklappen der Blättchen infolge der Erschütterung und das Annehmen der Schlafstellung bei Eintritt der Dunkelheit derselbe Vorgang wären; genauere Beobachtung lehrt aber, daß denn doch ein wesentlicher Unterschied besteht, und daß man die Reizstellung von der Schlafstellung unterscheiden muß. Außerlich wird dieser Unterschied zunächst dadurch erkennbar, daß bei der infolge von Dunkelheit eintretenden Schlafstellung eines Blättchens der darunter befindliche Gelenkwulst ganz steif bleibt, während bei dem durch Erschütterung veranlaßten Zusammenklappen der Blättchen eine Erschlaffung der einen Hälfte des Gelenkwulstes eintritt. An Durchschnitten der Gelenkwülste von *Sensitiven* findet man, daß Ober- und Unterseite des Gelenkes einen verschiedenen anatomischen Bau besitzen. Wenn man die Oberseite mit einem Stäbchen berührt, so wird dadurch eine Veränderung nicht veranlaßt; sobald man aber die Unterseite des Gelenkes noch so leise betastet, so tritt sofort eine Krümmung ein. Der schwächste Druck wird demnach von den Protoplasten in diesen Zellkammern als Reiz empfunden und veranlaßt sie, einen Teil des ihrem Machtbereich unterstehenden Wassers in den Stamm abfließen zu lassen. Dadurch wird nun der Turgor in diesem Teile des Wulstes sehr verringert, das betreffende Zellgewebe erschlafft, und in dem Maß, als diese Erschlaffung stattfindet, steigert sich der Turgor in dem Zellgewebe der gegenüberliegenden Hälfte des Blattwulstes. Es scheint auch, daß ein Teil des von dem gereizten Protoplasten abgegebenen Wassers in das gegenüberliegende Gewebe hineingepreßt und dadurch der Turgor dort noch gesteigert wird.

Die Fortpflanzung des Reizes, der bei Berührung zunächst nur auf ein einzelnes

Teilblättchen des zusammengesetzten Blattes ausgeübt werden kann, auf die Nachbarn und auf die gemeinsamen Blattstiele, ja schließlich auf die ganze Pflanze, erinnert lebhaft an den ähnlichen Vorgang in den Blättern des Sonnentaus und der Venusfliegenfalle (vgl. S. 323



Mimosa pudica in der Ruhe- und in der Reizstellung. (Zu S. 480.)

und 327), sie erinnert auch an die Leitung des Reizes im Protoplasma niederer Tiere und ist wohl auf ähnliche Weise wie dort aufzufassen. Die Protoplasten der reizbaren Zellgruppen in allen Gelenkwülsten sind, wie früher gesagt, durch unendlich zarte, die Zellwände durchsetzende Protoplasmafäden verbunden (vgl. S. 45), und die durch den Reiz veranlasste

molekulare Bewegung im Protoplasma, wenn sie zunächst auch nur eine einzige Zelle erfasst hat, pflanzt sich wie der elektrische Strom in den Telegraphendrähten über andere im Verbände befindliche, durch die zarten Plasmasäden verkettete Protoplasten fort, überall dieselbe Erscheinung, nämlich eine Zusammenziehung bestimmter Zellen und ein Hinauspressen von Zellsaft in die benachbarten Interzellulargänge, veranlassend.

Die Vorteile, welche durch diese merkwürdigen Lageänderungen der Blättchen erreicht werden, sind wohl verschiedener Art. Bei Tage liegt einer der Vorteile augenscheinlich darin, daß durch die veränderte Blattlage eine rasche Ableitung des Regenwassers ermöglicht wird. An den Sensitiven mit gefiederten Blättern, wie z. B. an *Mimosa pudica*, sieht man alle Regentropfen über die zur Erde geneigten Blattstiele und die zusammengeklappten Blättchen rasch nach abwärts zur Erde gleiten, so daß kein Tropfen auf dem zarten Laubwerk zurückbleibt, und an jenen mit kleeartigen oder fächerförmig zusammengesetzten Blättern bemerkt man, daß sich die Teilblättchen, die von den aufrecht bleibenden Blattstielen infolge der Erschütterung durch die Regentropfen herabgeschlagen sind, längs der Mittelrippe falten, so daß jedes derselben eine Rinne bildet, durch welche das Regenwasser rasch zum Boden niederfließt. Unter anderen Umständen können durch die rasche Veränderung der Lage der Blättchen wieder andere Vorteile erreicht werden. Manchmal kommt es vor, daß stoßweise einfallende trockene Winde und angewehter Sand, oder daß eine ganz außergewöhnliche Hitze zur Mittagszeit ein Zusammenlegen der Blättchen verursacht. In den zuletzt erwähnten Fällen ist es wohl die Gefahr zu weit gehender Transpiration, welche die Pflanzen veranlaßt, die Breitseiten ihrer Blättchen vertikal zu stellen. Die Schlafstellung der Blätter ist dagegen wohl als Schutz gegen nächtlichen Wärmeverlust anzusehen, kann aber auch die nächtliche Transpiration herabsetzen.

Aus allen Beobachtungen geht hervor, daß die Blättchen durch ihre Bewegungen sehr verschiedenen Gefahren ausweichen können: in der hellen Nacht dem durch Ausstrahlung bedingten Wärmeverlust und der Benetzung durch Tau, am heißen Mittag dem Vertrocknen infolge rascher Verdunstung und bei Regenwetter der Knickung und dem Aufschlagen der zarten Blätter auf den Boden. Allgemein wird angenommen, daß noch ein weiterer Vorteil durch diese Bewegungen erreicht wird, nämlich ein Schutz gegen Tiere. Doch bedürfen die Vorstellungen darüber wohl der Berichtigung. Wie in anderen Büchern hieß es auch in der letzten Auflage dieses Buches, daß „weidende Tiere, welche die zarten Blätter der Sensitiven beschnuppern und mit dem Maule berühren, durch die plötzlichen Bewegungen der Blättchen befremdet und erschreckt würden und es unterlassen, diese unheimlichen Pflanzen abzufressen, zumal dann, wenn zwischen den sich herabschlagenden Blättchen spitze, starrende Dornen sichtbar werden, was namentlich bei vielen Mimosen der Fall ist“.

Beobachtungen, welche der Herausgeber auf Ceylon machte, ergaben jedoch, daß von einem Erschrecktwerden der Weidetiere durch die Bewegungen der Mimose keine Rede sein kann. Die aus den südamerikanischen Tropen stammende *Mimosa pudica* ist auf Ceylon auf allen Weidetriften und an trockenen besonnten Stellen weit verbreitet. Weidende Zebus kommen daher in der Tat mit ihr in Berührung. Allein das Tier bekommt die Blattbewegungen selbst gar nicht zu Gesicht, denn schon vor der Berührung mit dem Maule erschüttern die wandelnden Füße die Pflanze und bringen sie in Reizstellung. Dann sieht man von der Pflanze nichts mehr als die Blüten, und ich beobachtete oft, daß diese von den Zebus abgebissen wurden. Sich weiter mit der Pflanze zu befassen, würden auch die erwähnten Dornen wohl verbieten, aber es scheint, daß die Tiere von den gereizten Pflanzen überhaupt

nichts weiter wahrnehmen. Wenn man ein Mimofengestrupp mit dem Fuß erschüttert, so ist das ganze Laubwerk verschwunden und man sieht nichts als die braunrot angelaufenen Stengel, so daß man den Eindruck hat, als ob dort ein Haufwerk trockener Zweige läge. Das Bodenstück macht dann einen ganz trostlosen Eindruck, und auch den Tieren mag es wohl scheinen, daß dort nichts zu holen sei, denn sie wandern weiter, ohne die Pflanze genauer zu untersuchen. Daß die Blattbewegung kleinere Schädlinge, z. B. Insekten, besonders Ameisen, erschrecken und in die Flucht schlagen kann, ist dagegen wahrscheinlich.

Es kann nicht genug darauf hingewiesen werden und sei am Schlusse nochmals betont, daß gleiche und ähnliche Einrichtungen sowie gleiche und ähnliche Vorgänge eine sehr verschiedene Bedeutung haben können, je nachdem sie an dieser oder jener Pflanze, an diesem oder jenem Standort, unter diesen oder jenen klimatischen Verhältnissen vorkommen, sowie daß andererseits durch ein und dieselbe Einrichtung zwei oder mehrere Vorteile zugleich erreicht werden können.

In diesem Bande ist nur ein Teil der Lebensbetatigungen der Pflanzen geschildert, namentlich die Ernährung und die Anpassungen des Pflanzenkörpers an die Umgebung, welche diesen Zweck fördern und sichern helfen. Im zweiten Bande sollen sich die Vorgänge der Fortpflanzung anschließen. Die Biologie der Pflanzen befaßt sich ganz wesentlich mit der Aufklärung der praktischen Bedeutung der Organe und Einrichtungen des Pflanzenkörpers für die Existenz, für das Leben der Pflanze. Aber die Biologie ist nicht immer in der Lage, ihre Fragen nach der Bedeutung der Erscheinungen durch das Experiment zu beantworten. Sie ist vielfach angewiesen auf Abwägen, Überlegen und Schlußfolgerungen, und kann zwar in vielen Fällen zu ausreichender Einsicht, in ebenso vielen aber nur bis zur Wahrscheinlichkeit ihrer Annahmen gelangen. Darum ist für sie eine scharfe Kritik ihrer Schlüsse unbedingte Forderung, und wenn in neuerer Zeit gerade die Biologie ein Tummelplatz für eine populäre und unkritische Literatur geworden ist, so ist das, wie es von Wettstein in einem Vortrage auf der Naturforscherversammlung in Münster (1912) getan hat, mit Recht zu verurteilen. Die Biologie verträgt um so weniger eine, übrigens antiquierte und aus dem Anfang des 19. Jahrhunderts stammende Vermengung mit ästhetischen und psychologischen Elementen und eine unwahre, poetisierende Darstellung, als von naturwissenschaftlichen Forschern streng kausaler Richtung ihren Zielen Schwierigkeiten bereitet werden. Man sagt, da es absolut unbewiesen sei, daß in der Natur irgendwelche Zwecke verfolgt werden, so sei es nicht wissenschaftlich, nach den Zwecken der Organisation der Lebewesen zu fragen; man könne nur Vorgänge beobachten, nach ihren Ursachen fragen, und müsse diese womöglich experimentell festzustellen suchen. So verfährt die durch diesen Standpunkt von der Biologie verschiedene Pflanzenphysiologie. Sie nähert sich dadurch in ihrer Strenge anderen, sogenannten exakten Naturwissenschaften, wie der Chemie und der Physik. Der Physiker erforscht die Ursache des Blitzes, er fragt aber nicht, welchen Zweck der Blitz hat, der Chemiker analysiert den Kupfervitriolkristall, fragt aber nicht, wozu er da ist. Allein hier liegt auch gar kein Bedürfnis des Verstandes vor, diese Frage zu stellen, und es bedeutet eine Einseitigkeit, deshalb die Frage nach Zwecken von Natureinrichtungen überhaupt abzuweisen. Unser Verstand ist nun einmal so eingerichtet, daß er von Kindheit an die Frage nach dem Zweck, nach der Bedeutung von Einrichtungen aufwirft. Diese Betrachtungsweise bezeichnet man im Gegensatz zur kausalen als teleologische. Das griechische Wort Teleologie heißt aber auf deutsch nichts anderes als Zweckmaigkeitslehre.

Daß im menschlichen Leben die Frage nach dem Zweck oder der Bedeutung für die Gewinnung vollständiger Einsicht eine Notwendigkeit ist, weiß jedermann. Das Interesse wird nicht befriedigt, wenn der Physiker uns den Telegraphen oder einen anderen Apparat bloß kausal erklärt und gar nicht mitteilt, was man damit erreicht, welchen Zweck er hat. Und nun sollte man bei lebenden Wesen, deren Existenz doch zweifellos von ihren Organen abhängig ist, nicht nach dem Zweck oder der Bedeutung dieser Organe fragen dürfen?

Schon Kant hat bestätigt, daß nur beiderlei Betrachtungsweisen, die kausale und die teleologische, da wo sie überhaupt möglich sind, zum vollen Verständnis der Erscheinung führen. Durch Aufdeckung von Ursache und Wirkung erkennt man nur einen Zusammenhang gewisser Erscheinungen, z. B. daß die Krümmung einer Wurzelspitze durch die Schwerkraft veranlaßt wird. Durch die Frage nach dem Zweck aber wird erst diese merkwürdige Reizbarkeit verständlich, denn die Antwort ist, daß die Bedeutung solcher Fähigkeit, sich zu krümmen, die ist, die Wurzel in für das Leben der Pflanze geeignete Richtungen zu bringen.

Die Naturforscher sind heute alle davon überzeugt, daß kein Lebewesen, keine Organisation neu erschaffen wird, sondern daß alles sich aus einem vorhandenen, gegebenen Anfang, der von einem Lebewesen abstammt, entwickelt. Welches Interesse hätte es aber wohl, wenn man nur kausal erforschen wollte, daß die Entwicklung des Samens zu einer Pflanze durch ein bestimmtes, in Zahlen ausdrückbares Maß von Feuchtigkeit, Wärme und Nährstoffen zustande kommt, wenn man nicht fragen dürfte, zu welchen Zwecken das sich entwickelnde Gebilde infolge dieser Ursachen Wurzeln, Stengel, Blätter und Blüten, Früchte und wieder Samen erzeugt. Die teleologische Betrachtungsweise ist also gerade so wissenschaftlich wie die kausale, nur ihre Methode, ihre Sicherheit, zu richtigen Erkenntnissen zu gelangen, ist unvollkommener. Ihr deshalb die Gültigkeit abzuspochen, wäre ungefähr dasselbe, wie wenn der Dampfschiffskapitän dem Luftfahrer verwehren wollte, einen See zu überfliegen.

Nur vor einem Fehler der Teleologie muß man sich bewahren. Wenn zweifellos die Entwicklung in der Richtung und mit dem Ende erkennbarer Zwecke vor sich geht, so sind diese Endzwecke niemals Ursache der Entwicklung. Nur beim denkenden Menschen, der die Vorstellung seiner Zwecke als Motiv zur Anwendung von Mitteln für die Erreichung derselben benutzen kann, wird diese Vorstellung zur Ursache (Finalursache). Aber diese Ursache ist keine reale, sondern bloß eine ideale. Bei Pflanzen, wo keine Vorstellungen von Zwecken vorhanden sind, kann natürlich der Zweck eines Organes nicht die Ursache seiner Entstehung sein. Die Ursache der Entstehung ist uns zuweilen unerkennbar, obgleich wir den Zweck des Organes wohl erkennen.

Register.

Das Kreuzchen (†) hinter einer Ziffer verweist auf eine Tafel, das Sternchen (*) auf ein Textbild. Die Autorennamen sind durch gesperrte Schrift hervorgehoben.

A.

- Acacia cornigera* 423*. 424.
Acantholimon 119. 120*.
 — *Senganense* 173*. 175.
Acanthosicyos horrida 119. 135. 423*.
Acanthus spinosissimus 124*.
Acer platanoides 141*. 142*. 145.
Adansonia digitata 271*. 272.
 Adlerneß der Blätter 105—106. 107*.
 Adhäsion 302.
Aechmea paniculata 122*.
 Ärenchym der Sumpfpflanzen 429.
 Affenbrotbaum 271*. 272.
Agaricus campestris 397.
 — *melleus* 386. 398†. 437.
 — *olearius* 437. 438.
Agave americana 189.
 Afazie (Robinie) 133*. 134. 151.
 Afazien, Phyllobienbildung 251.
 Altmünienförmige Blatthaare 237*. 239.
 Albert von Bollstädt (Albertus Magnus) 5.
 Albumine 287.
Alchimilla vulgaris 169. 181*. 263. 265*.
Aldrovandia 327*. 329*. 329—331.
Alectorolophus 344.
 Neuron, Neuronfortner 287. 288*.
 Algen als Bewohner heißer Quellen 456. 457.
 — als Flechtenbildner 401. 403. 404.
 — Symbiose mit Wassertieren 416.
 Alkaloide 290.
 Alkoholgärung 440.
Alnus viridis 470.
 Aloe 190. 244.
 Alpen-Bergflachs 343*.
 Alpenerle 470.
 Alpenpflanzen, s. Hochgebirgsflora.
 Alpenrose 465. 470.
Amanita muscaria 433.
 Ameisengärten 425.
 Ameisenpflanzen 422—425. 423*.
Amicia Zygomeris 152*. 153*. 479*.
 Amide 290.
 Aminosäuren 287. 291.
 Ammoniakbildung 55.
 Amöben, Bewegungen 33.
Amorpha fruticosa 478*. 479.
Ampelopsis 283†. 336.
 Amphibische Pflanzen, Gestaltwechsel der Blätter 67. 113.
 Amphigastrien der Lebermoose 156. 271.
Amphiloma 405.
 Amygdalin 290.
Andromeda tetragona 217*.
 Angelborsten 125*.
 Anisophyllie 149—151.
 Anpassungsmerkmale 17.
Anthocharis 152. 153. 281. 289.
Anthoxanthin 289.
 Apetalen 16.
 Äpfelsäure 291.
Apodanthes 377*. 378.
 Apothezien der Flechten 405.
 Apposition 43.
 Arabin 289.
 Arabisches Gummi 289.
 Arbeitsteilung in der Pflanze 27.
Arceuthobium Oxycedri 352.
 Aritolochiazeeen, Leitungsbahnen 197*.
 Aristoteles 17.
 Arktische Flora, Fehlen behaarter Blätter 232.
 Armparenchym 200*.
 Aroideen, Atmungswärme in der Blütenhülle 436. 437.
 — mit Luftwurzeln 162. 198†.
Artemisia Mutellina 231. 237*. 238.
 Äschenrückstand der Pflanzen 56.
Aesculus Hippocastanum 277*. 279*.
 Ascomyzeten als Flechtenpilze 405.
 — als Parasiten 388.
 Asparagin 291. 292.
Aspergillus niger 398*.
 Äspersifolien, Häufigkeit der Stachelborsten 126.
Asplenium Nidus 339.
Astragalus 133*.
 Ästreinigung 146.
 Äsymmetrie der Laubblätter 148.
 Atemhöhle der Spaltöffnungen 200.
 Ätherische Öle als Excrete 289. 290.
 — als Schutzmittel gegen Tierfraß 129.
 Atmung 426—431.
 — intramolekulare 431.
 Atome, Verschiebung im Protoplasma 48.
Atropa Belladonna 150*.
 Atropin 290.
 Augentrost 342. 344.
 Ausreifen des Holzes 473.
 Autotrophe Pflanzen 303.
Avena compressa 256.
 — *planiculmis* 256.
Avicenna 4.
Azalea procumbens 216. 218*.
 Äziden der Rostpilze 386†. 388.

B.

- Bacillus lucifer* 437.
 — *prodigiosus* 442. 443*.
Bacterium aceti 441. 443*.

- Bacterium Anthracis 443*.
 — phosphoreum 437.
 — radicola 415.
 Bakterien als Gärungserreger 441.
 — als Humusbildner 84.
 — als Krankheitserreger 442.
 — als Schmarotzer 381.
 Bakterienknöllchen der Leguminosen 415*.
 Balanophora 369*. 370—371.
 Balanophoreen als Schmarotzer 367.
 Balanophorin 368.
 Balsame 289. 290.
 Bambusblatt 210. 211*.
 Baobab 271*. 272.
 Barbula 156. 199. 261.
 Bärlappe als Saprophyten 412—413.
 Bartmoose, s. Barbula.
 Bartschia alpina 346. 364. 411.
 Batsibien der Blätterchwämme 395. 396*.
 Basidiomyceten als Flechtenpilze 405.
 Basisafern 46*.
 Basileiten des Besenginsterstengels 247.
 Bastparenchym 296*. 300.
 Bauchpilze als Saprophyten 394. 395*.
 Baumkronen, Regenwasserableitung 77.
 Baumwürger 336. 337*.
 Baustoffe der Pflanze 288—293.
 Beggiatoa 34. 393.
 Begonia Dregei 149*.
 Berberis, Berberitze 134. 135. 388.
 Berggras 256*.
 Bernard 411.
 Besenginstern 246*. 247*.
 Bitterfuß, s. Solanum.
 Blattadern 295.
 Blattläste 248.
 Blattbewegungen zum Schutz gegen starke Transpiration 254.
 Blätter, s. Laubblätter.
 Blättermosaik 137. 138*. 139*. 147*. 148*. 149*.
 Blattfilz 128.
 Blattfläche, Durchlöcherung 146.
 — Neigung zum Blattstiel 144.
 — Richtung zur Sonnenbestrahlung 138.
 Blattformen 10. 105.
 Blattgelenke 152.
 Blattgestalt, Wechsel 10.
 Blattgrün 92. 94.
 Blatthaare als Saugorgane 182.
 — als Transpirationsschutz 228—240.
 Blattnarben am Stengel 278.
 Blattneratur 105—106. 107*. 295.
 Blattoberhaut 105.
 Blattrippen, s. Blattneratur.
 Blattrosetten 139.
 Blattschneiderameisen 422.
 Blattstellung 136.
 — an aufrechten Stengeln 137—140.
 — an Seitenzweigen 141—145.
 — dekussierte 80.
 — regenableitende 77. 78—79.
 — regenzuleitende 79.
 Blattstiele, bewegliche 108. 136.
 — drahtförmige 78.
 — lange 108.
 — rinnenförmige 79—80.
 — zur Lichtinstellung verlängerte 145.
 Blattzähne als Saugvorrichtungen 177—178.
 Blattzeilen 137.
 Blumen, chlorophyllreiche 95.
 Blumenkrone 12.
 Blutalge 32.
 Blutbuche 96.
 Blüten, Atmungswärme 436. 437.
 — Schutz gegen Wärmeverlust 474.
 Blütenentfaltung, Wärmebedingungen 448.
 Blütenknospen, Atmungswärme 433.
 Blütenstaub 14.
 Bluthajel 96.
 Blutwurz 297.
 Boden als Nährsalzlieferant 68—71.
 Bodenbildende Tätigkeit der Pflanzen 84—90.
 Bodenfestigkeit der Pflanzen 63.
 Bodentemperaturen im Winter 467—468.
 Bogenblatt 109†. 110.
 Bohne 255.
 Bohnenkraut 152.
 Bolbophyllum 215*.
 Boletus edulis 433.
 Borke als Nährboden 340.
 Borstengras 117.
 Bouffingault 415.
 Boviste 433.
 Brandpilze 387†. 388.
 Braun, Alex. 15.
 Braunschuppen als Schmarotzer 364—366.
 Brennborsten 125*. 126—128.
 Brom 58.
 Bromeliaceen, epiphytische 166—167.
 Broussonetia papyrifera 144*. 146. 150.
 Brown, Robert 15.
 Bruchmann 412. 413. 414.
 Brugmansia 378*. 379.
 Brunnenfaden 393.
 Buche 266. 269*.
 Büschelförmige Dedhaare 237*. 238.
 Butomus umbellatus 110†.
 Byblis 326.

C.

- Campelia Zanonii 163*.
 Candolle, De 15. 16.
 Caragana 135.
 Carex paludosa 210*.
 — stricta 110†.
 Carica Papaya 293.
 Carnichelia 249. 250*.
 Carotin 289.
 Caryota propinqua 225. 226*. 227*.
 Cassytha 360.
 Casuarina quadrivalvis 214*.
 Cecropia cinerea 422. 423*.
 Cephalotus follicularis 310. 314. 315*.
 Cerafin 289.
 Cercis Siliquastrum 143. 144.
 Cereus dasyacanthus 244*.
 Cesalpini 10.
 Cetraria 216†. 402†.
 Champignon 397.
 Chelidonium majus 297. 420.
 Chinin 290.
 Chlor 56.
 Chlorenchym 199.
 Chlorophyllfarbstoff 92. 94. 289.
 Chlorophyllid 92.
 Chlorophyllkörper als Stärkebildner 91. 96—98.
 — als Verarbeiter der Kohlen- säure 53.
 — Bau 92.
 — chemische Natur 92.
 — Einstellung zum Sonnenlicht 99—101. 100*.
 — Gestalt 22†. 94.
 — Lagerung in den Zellen 93.
 — Rotieren 37.
 — Verbreitung in der Pflanze 94 bis 95.
 Chlorophyllpflanzen, Ernährung 52.
 Chloroplasten, s. Chlorophyllkörper.
 Chromatophoren 289.
 Chroococceen als Flechtenbilder 403.
 Chytridium Olla 382.
 Circaea 411.
 Cladonia 216†. 402†. 403*.
 Clathrus 394.
 Claviceps purpurea 387†. 388.
 Clematis 335.
 Coccocarpia molybdaea 403*.
 Coccoloba platyclada 250.
 Cocculus Balfourii 250.
 Cochlearia officinalis 464.
 Collema pulposum 402*. 403.
 Colletia cruciata 119. 250*.

- Colurolejeunia Naumannii 418.
419*.
Conium 290.
Coprinus 398. 399†.
Corallorhiza innata 410—411.
Cordiceps Taylori 388. 389*.
Coronilla varia 478*.
Corynaea 372.
Corypha umbraculifera 203. 204†.
Cotylanthera tenuis 414.
Crenothrix 393.
Cuscuta Europaea 356—360.
357*. 358*.
Cyanophyceen als Flechtenbildner
403.
Cynomorium 374. 375*. 376.
Cytinus Hypocistus 375*. 380.
Cytisus radiatus 213. 214*.
— spinosus, s. Weißflee.
- D.**
Dammerde 70.
Darlingtonia Californica 310.
311*. 312. 313. 314.
Darwin 18. 85. 304.
Daucus Carota 475*.
De Gandolle 15. 16.
Deckhaare 235—240. 236*. 237*.
239*.
Defuzzierte Blattstellung 80.
Dendrobium nobile 161†.
Desmidiaceen 22†. 293.
Dialypetalen 16.
Diastrae 292.
Diatomeen als Epiphyten 338.
— als Kieselsäurefänger 57.
58*. 61.
— Bewegungen 34.
Dickblatt 242.
Dieranum 399. 400.
Dietyophora phalloides 396. 397*.
Difotyledonen 16.
Dingel 410.
Dionaea muscipula 326*. 327*.
327—329. 333—334.
Dioscorea macroura 168*. 169.
Diosforides 4.
Diosmoje 300.
Dipsacus laciniatus 180*.
Dischidia Rafflesiana 165*.
Distelblatt 121.
Disteln 121. 123*.
Domatien 425.
Dornen als Schutz gegen Tierfraß
129.
— Begriff 118.
— geograph. Verbreitung 132.
— Ursachen 132.
Drehung der Blattstiele 143*.
— der Stengelglieder 143*.
Drosera 320†. 322—327. 323*.
Drosophyllum Lusitanicum 331
bis 332. 333*.
Drüsenrücken der Blätter als
Saugorgane 184.
Drüsenhaare 183*.
Dryandra floribunda 212. 213*.
Dulzitt 289.
Düngerflora 393.
Durchlüftungskanäle in Laub-
blättern 54. 200.
- E.**
Echinocactus horizontalis 244*.
Echium 125*.
Ecluse, Charles de l' 7.
Edekraute 231. 237*. 238.
Edeleweiß 231*.
Efeu 147*. 335.
Ehrenberg 20.
Eichenmeltau 386. 387*.
Eisbildung im Pflanzengewebe
459—462.
Eisen als Pflanzennährstoff 57.
Eiweißverbindungen 55. 287.
Elementarorgane der Pflanze
16.
Empetrum nigrum 217*.
Empusa Muscae 387.
Emulsin 292.
Endosmoje 188.
Endprodukte des Stoffwechsels
289.
Entfaltung der Laubblätter 262—
269.
Entwickelungsgehistorische Me-
thode 15.
Enzian 179*. 181*.
Enzyrne 292.
— bei Insektivoren 303. 306. 310.
319. 321. 323. 328.
Epebe Kernerii 402*. 403.
Epiphyten 161†.
— als Ameisenpflanzen 425.
— Begriff 335.
— Ernährungsweise 338.
— Wasseraufnahme 159. 161—
167.
Epipogon aphyllum 410—411.
411†.
Epithem 170*. 172.
Erdbakterien 84.
Erderuch 84.
Erdrume, Zusammensetzung 70.
Erdpflanzen, Nährstoffaufnahme
68—77.
Erdschieber 433.
Erdfarn 394. 395*.
Erfrören des Protoplasmas 459
bis 473.
— ohne Frost 273.
Erfrörungstemperaturen 463.
Erkazeen, Kollblattbildung 216.
217*. 218.
Ernährung, Begriff 50.
— unter Benutzung organischer
Substanzen 303—400.
Ernährungsbeziehungen 401.
Ernährungsweisen, Typen der
51.
Erythrae als Schmarotzer 386.
Espe 108. 177.
Eßigbakterien als Gärungserreger
441.
Euglenen als Verwesungspflan-
zen 393.
Eufalypus 109†.
Euphorbia Canariensis 243*.
Euphorbiaaceen als Fettpflanzen
242.
Euphrasia 342. 344.
Euxete 290.
- F.**
Fabri 20.
Fadenalgen, Schwärmersporenbil-
dung 22†.
Fadenförmiger Keimling der Raff-
lesien 376.
Fadenpilze als Humusbildner 85.
Fagus silvatica 266.
Falcaria Rivini 475*.
Fallgruben 308—309.
Faltung der Blätter in der Knop-
penlage 263.
Farbstoffbakterien 442.
Farbstoffe 289.
Färbung des Herbstlaubes 279.
281—285.
Farn als Epiphyten 339—340.
Farnwedel, Wasseraufnahme 158.
Faserbast 297.
Fäulnis 85.
Fäulnisbakterien 84. 442.
Feigenfaktus 125. 243.
Felsbewohnende Pflanzen 341—
342.
Fermente 293.
Ferrari, G. B. 8.
Festuca 117. 125*. 256. 257*.
258*. 259*. 260.
Fette in der Pflanze 289.
Fettkraut 319—322. 320†*.
Fettpflanzen 243.
Feuerschwamm 398†.
Fichte 142†.
Fichtenspargel 413—414.
Ficus scandens 149*.
Filtration 300.
Fitzblätter, geographische Ver-
breitung 230—235. 240.
Fitzhaare als Schutz gegen Tier-
fraß 128.
Firnisaartiger Überzug der Haut
228.
Firnisaartiger Überzug der Blattzähne
177.
— junger Blätter 265.
Fischblätter 202.
Fischprofigewächse 248—251.
249*. 250*.
Flechten 81†. 86†. 402†.
— Bau und Leben 401—406.
— gesteinslösende Tätigkeit 86.
— Wasseraufnahme 155.
Flechtenpilze 404. 405.

- Fleischige Stengel der Suttulanten 242—244.
 Fleischverdauende Pflanzen 304.
 Fliegenchwamm 433.
 "Flora" 8.
 Floralpolster der gewebeförmigen Parasiten 377.
 Florideen, Färbung 104.
 — Kalkinfraktion 88.
 — Nahrungsaufnahme 64. 65.
 Fluor 58.
 Formaldehyd 286.
 Formose 286.
 Forster 370.
 Frankien, Salzausscheidung 176. 177.
 Frauenmäntelchen 263. 265*.
 Fruchtblätter 14.
 Fruchtweise, Wärmebedingungen 448—449.
 Frullania dilatata 156. 417*.
 Fumago 421.
 Funktionswechsel von Pflanzenorganen 134.
- G.**
- Galactodendron utile 297.
 Gallerrflechten 402*.
 Gartenkunst 5.
 Gärungen 440—444.
 Gasparinia elegans 81†.
 Gasteromyceten 394. 395*.
 Geaster 394. 395*.
 Gefäßbündel 106. 186. 295.
 Gefäßbündelscheide 295. 296. 297. 300.
 Gefäße 45—46.
 Geißflecke 133*. 213. 214*. 248.
 Gelappte Blätter, Lichtlage 145.
 Selbstfärbung des Herbstlaubes 280.
 Generationswechsel der Lycopodien 412.
 Genlisea 307—308. 308*.
 Genossenschaften, einseitige 406.
 Gentiana acaulis 181*.
 Gentianen als Pilzschmarotzer 414.
 — als Saprophyten 412.
 Geotropismus, positiver 74. 75.
 Geröllpflanzen 86.
 Getreiderost 386†. 388.
 Getüpfelte Gefäße 296*.
 Gewebeförmige Schmarotzer 376.
 Gifte als Schutzmittel des grünen Gewebes 115.
 Giftlatic 295*.
 Gitterschwamm 394.
 Gleichgewichtsstörung als Anlaß der Stoffbewegung im Pflanzenkörper 62.
 Glabine 287.
 Globuline 287.
 Glukose 300.
 Glutamin 291.
 Glyceria spectabilis 210*.
 Glykoxide 290. 291.
 Gnaphalium Leontopodium 231*.
 Goebel, Karl 17.
 Gonium 33.
 Goethe 11. 12. 13. 14. 15.
 Graham 41.
 Grasbäume 109†. 110.
 Grasblätter, periodisches Zusammenfallen 255—260. 256*. 257*.
 Grew 9.
 Grundformen der Pflanzen 15.
 Grundorgane der Pflanzen 14.
 Grundstoffe der Pflanzennahrung 56.
 Gründüngung durch Lupinen 416.
 Gyrophora cylindrica 81†.
- H.**
- Haare als Saugorgane 182.
 — als Schutz gegen Benetzung 208.
 — als Strahlungsschutz 152.
 — als Transpirationsschutz 228—240. 266.
 Haarfilz der Blätter 240.
 Haarröhrchenwirkung als Ursache des Transpirationsstroms 191.
 Habichtschwamm 433.
 Haftwurzeln der Epiphyten 159. 340. 341*.
 Haftzellen der Epiphyten 159.
 Hakea florida 212*.
 Hale's 17.
 Hallimasa 398†. 437.
 Halophyten 63.
 Hanfwürger 364.
 Hartbast 296*. 297.
 Harze 289. 290.
 Hausschwamm 189. 397.
 Hautorien der Schmarotzerpilze 385.
 Hautschicht des Protoplasmas, Bau 301.
 Hedera Helix 147*. 335. 336†.
 Hefepilze 440. 441*.
 Heidekraut 216. 218.
 Heidepflanzen, Häufigkeit des Rollblattes 220.
 Helianthophora nutans 308*. 309. 310.
 Helianthemum 143*. 145.
 Helleborus niger 95.
 Helosis 371—372. 371*.
 Henslowia 347.
 Herablaufende Blätter 252.
 Herbarium 7.
 Herbstliche Färbung der Blätter 279. 281—285.
 Heterophyllie 67†. 147.
 Hovea brasiliensis 297.
 Hegenbesen 391.
 Hegenkraut 411.
 Herenting 395. 399†.
 Hilfsstoffe des Pflanzenkörpers 289.
 Hippocrates 4.
 Hochgebirgsflora, Häufigkeit behaarter Blätter 230—232.
 — Häufigkeit des Rollblattes 219.
 Hostpflanze 44*. 187.
 Holz, Erfrieren 462.
 Holzfasern 46*.
 Holzgefäße 187.
 Holzparenchym 295. 296*. 300.
 Holzröhren 295.
 Holzrose 354*. 355.
 Holzstoff (Lignin) 42. 47. 288.
 Holzzellen 187. 295.
 Honig 289.
 Honigtau 289. 421.
 Hootte, R. 20.
 Hookeria splendens 103.
 Hortus vivus 7.
 Hühnerdarm, s. Stellaria media.
 Hülsenfrüchte, Symbiose mit Bakterien 415.
 Humusbildung 84.
 Humuspflanzen als Nicht-Saprophyten 399—400.
 — als Saprophyten 411—412.
 Humusammelnde Epiphyten 339.
 Hutpilze als Verwesungspflanzen 394.
 Hybathoden 169.
 — der Schuppenwurz 364.
 Hydnohyum 425.
 Hydnum imbricatum 433.
 Hydrodictyon utriculatum 36.
 Hymenomyzeten als Verwesungspflanzen 394.
 — Atmungswärme 433.
 — Leuchterscheinungen 437. 439.
 Hyphen der Schmarotzerpilze 384. 385*.
 Hypnum molluscum 156.
 Hypozist 375*. 380.
- I.**
- Ilex aquifolium 224. 225*.
 Imbibitionsfähigkeit der Zellhaut 302.
 Imbibitionstheorie des Saftsteigens 192.
 Imbricaria caperata 81†.
 Immergrüne Laubblätter 219. 280.
 Infusorien 20. 21.
 Ingenhousz, Jan 17. 52. 91.
 Insektenfressende Pflanzen 303—335.
 Internodien 11. 422.
 Interzellulargänge als Bildungsstellen des Eisens beim Erfrieren 460.
 — Entstehung 26*. 54.
 Intususszeption 43.

Invertin 293.
Irideen, Häufigkeit reitender Blätter 251.

J.

Jod 56. 58. 61. 66.
Judasbaum 143. 144.
Juglans regia 263. 265*.
Jungermanniazeen, Symbiose mit Nädertierchen 417*. 418.
Junguhuh 371.
Jungner 168.
Juniperus nana 470.
Jussiaea repens 429.
Jussieu 16.

K.

Kakteen, Schutz durch Wasser-
gewebe 242. 244.
— Schutz durch Dornenbildung
132.
Kalium 56. 57.
Kalk als Pflanzennährstoff 57.
Kalkanhäufung in Wasserpflanzen
89.
Kalkkrusten der Blätter als Mit-
tel zur Wasseraufnahme
174.
— der Blätter als Transpira-
tionschutz 228.
Kalkpflanzen 63.
Kalktuffbildung 88.
Kältewiderstand der Pflanzen
465.
Kalzium 56.
Kalziumphosphat als Bestandteil
des Protoplasmas 462—463.
Kambiformzellen 296.
Kambiumzellen 46*.
Kampfer 290.
Kamnenpflanzen 314. 316—319.
Kapillarität 191.
Kapländische Flora 221.
Karotin 92.
Kartoffelknolle, Reimung 451.
Kartoffelkrankheit 387†.
Kassithen 360.
Kasuarineen als Rutengewächse
246. 248.
Keimblätter, Auf- und Zuklappen
476—477.
Keimpflanzen 12.
Keimreife der Samen 452—
453.
Keimungstemperaturen 447. 450.
Keimungswärme 432.
Kelsch 12.
Kieselalgen 57. 58. 90.
Kieselpanzer der Diatomeen 34.
— von Blättern 239*. 240.
Kieselpflanzen 63.
Kieselsäure als Pflanzenstoff 42.
Kieselsäureeinlagerung der Diato-
meen 57. 58*. 61.
— der Sulfulenten 244.

Kieselsäuregehalt als Schutz gegen
Tierfraß 116.
Kieselstete und Kieselholde Pflan-
zen 63.
Kirschbaum 265*.
Kirschgummi 289.
Klappertopf 344. 345.
Kleber 287.
Klebevorrichtungen bei Insekti-
voren 331. 332.
Kleeseide 356.
Kleine Blätter 238.
Kletterpalmen 196*. 336.
Knollen als Überwinterungs-
organe 470.
— oberirdische der Epiphyten
270. 271.
Knospenlage der Blätter 262—
264.
Koch, Robert 444.
Kohäsion 302.
Kohlenhydrate, Bildung in der
Pflanze 286.
Kohlenstoffaufnahme 52—55.
Kohlenstoffausscheidung 426. 427.
430. 431.
Kohlenstoffreduktion 96—98.
Kohlenstoffiges Eisenoxydul 57.
Kohlenstoff 56.
Kokain 290.
Kokkizyzen, Häufigkeit reitender
Blätter 251.
Kommelinazeen als Epiphyten
162.
Kompaßpflanzen 252. 253*.
Konglutin 287.
Königssterze 128. 237*. 239.
Konzentrationsvermögen der
Pflanzen 61.
Köpfchenhaare 183*.
Korallineen, Kalkinkrustation 88.
112.
Korallenwurz 410—411.
Korstoff 42. 47. 288.
Korolle 12.
Kotyledonen 11. 12.
Krateuas 4.
Kräuterbücher 4. 6.
Kristallkraut 244. 245.
Kristalloide 287. 288*.
Kronenumfang der Bäume 77.
Kronweite 478*.
Krustenflechten, Bau und Leben
402.
— Widerstandsfähigkeit gegen
Hitze 456. 457.
Kryptonit 434.
Kryptogamen 16.
Kuhbaum von Caracas 297.
Kutikula als Schutz gegen Schma-
rogerpilze 384.
— als Schutz gegen Tierfraß
116.
— als Schutz gegen Wasserabgabe
54. 224. 225*.
Kutikularzapfen 210. 211*.

L.

Lactarius 297. 433.
Lactuca 253. 295*. 297.
Lagenidium Rabenhorstii 382*.
Laichkraut, krausblättriges 472.
473*.
Laichkräuter, Kalkinkrustation 89.
Laminarien, Festigkeit der Sten-
gel 112.
Langsdorffia 367*—368.
Lasiagrostis Calamagrostis 258*.
259.
Lathraea clandestina 362.
— Squamaria 360—364. 361*.
363*.
Laubblätter als Chlorophyllträger
105—113.
— als Transpirationsorgane 198
bis 201.
— Anisophyllie 149—151.
— Asymmetrie 148.
— aufrechte 108.
— der amphibiischen Pflanzen
113.
— der Sumpfpflanzen 112—
113.
— der Wasserpflanzen 111—
112.
— Einrichtungen gegen Wasser-
benetzung 167.
— Einrichtungen zur Wasserauf-
nahme 173.
— flächenförmige Gestalt 105.
— Gestaltwechsel bei den amphibi-
ischen Pflanzen 67.
— große, als Transpirations-
förderer 202—204.
— herablaufende 252.
— herbstliche Färbung 279. 281
bis 285.
— Heterophyllie 147.
— immergrüne 219. 280.
— Lichtlage 135.
— mit Firnisüberzug 228.
— mit Haarleid als Transpira-
tionschutz 228—240.
— mit Kalkkrusten als Transpira-
tionschutz 228.
— mit Kieselpanzer 240.
— mit Salzausscheidungen als
Transpirationschutz 228.
— mit Wachüberzug als Tran-
spirationschutz 227.
— reitende 251.
— Reizbewegungen bei den Sen-
sitiven 479—483.
— Runzelung als Transpira-
tionschutz 241.
— Schlafbewegungen der Teil-
blättchen 477. 478*.
— schuppenförmige 242.
— Stellungswechsel bei Beleuch-
tungswechsel 151—152.
— tägliche Drehung 136.
— unbenehbare 207.

- Laubblätter, Verschmälnerung als Transpirationsschutz 241.
— Wasserausscheidung 169.
— zweifarbige 208.
Laubdecke des Bodens als Frostschutz 470.
Laubentfaltung 262—269. 265*. 267*. 269*. 448.
Laubfall in den kälteren Zonen 273—285. 472.
— in den Tropen 270. 272—273.
— Wärmebedingungen 449.
Laubflechten 402†.
— Bau und Entstehung 402. 403*.
Laubmoose, Wasseraufnahme 156.
Läusekraut 342. 345. 346.
Leben, Begriff 49.
Lebenskraft 41. 49. 194.
Lebermoose als Tierfänger 418—419.
— Symbiose mit Rädertierchen 417.
— Wasseraufnahme 156.
Lecanora esculenta 456. 457*.
Lecidea confluens 81†.
Leewenhoeck 20.
Legöhre 469—470. 471*.
Legumine 287.
Leguminosen, Symbiose mit Bakterien 415.
Leiterförmige Gefäße 46*.
Leitungsbahnen der Stoffwanderung 294.
— des Transpirationsstroms 186 bis 188.
Lejeunia 418.
Lenzites sepiaria 393.
Leuchtbakterien 437. 438.
Leuchtendes Holz 438.
Leuchtmoss 22†. 101. 102†*.
Leuchtpilze 437—438.
Leucin 291.
Leucobryum 157. 158*.
Leukoplasten 298.
Lianen als Epiphyten 336.
— Gefäßsystem 196. 197*.
Lichtentwidelung bei Pflanzen 437—439.
Lichtlage der Blätter 135.
Liebig 70.
Lignin, s. Holzstoff.
Limodorum abortivum 410.
Linné 7. 8. 9. 10. 11. 12. 17.
Linum usitatissimum 153.
Liriodendron tulipifera 264. 267*.
283†.
Lithium 58.
Lithophyllum 90†.
Lithothamnien, Kalkfraktion 112.
Lobulus 418. 419*.
Löcherchwämme 384. 386.
Löffelkraut 464.
Lohblüte 34.
Lonicera ciliosa 336. 337*.
Lophophyten als Schmarozer 373—376. 373*.
Loranthaceen als Schmarozer 347.
Loranthus Europaeus 351*. 353 bis 355.
Luftgewebe der Sumpfpflanzen 428. 429.
Lufträume in den Wasserpflanzen 53.
Luftwurzeln der Epiphyten 158*. 159. 160*. 161—162. 198†.
Lundström 425.
Lupine 415.
Lycopodium, Generationswechsel und Saprophytismus 412. 413*. 414*.
M.
Magnesium 56.
Mairföste 459.
Malpighi 9.
Malteerschwamm 375*. 376.
Malve 136.
Mamillaria pectinata 244*.
Mangan 58.
Mangroven, Blattbildung 224.
Mannaflchte 456. 457*.
Mannit 289.
Marchantia 156. 199.
Markscheide 296*.
Markstrahlen als Leitungsbahnen 296. 300.
— als Nahrungsaftspeicher 193.
Marsilea quadrifolia 254.
Maulbeerbaum 146.
Mäuselohr 248. 249*.
Meerespflanzen, Nahrungsaufnahme 65.
— Tiefengrenze 103.
Melampyrum 344. 357*.
Meltau 385*. 386.
— falscher 387.
Menispermum Carolinianum 197*.
Merulius lacrymans 397.
Mesembryanthemum 244. 245.
Mesocarpus 99.
Mesophyll 199.
Metamorphose 10.
Metamorphosenlehren 9. 10. 11—14.
Micrococcus diphthericus 443.
Mikroskopische Beobachtung 9. 10. 14. 15. 20. 21.
Mikrojojen 37.
Milchgefäße 297.
Milchröhren 22†. 46. 295*. 297.
Milchsaft 46. 297.
Milchsäurebakterien 442.
Milchzellen 297.
Mimosa Lindheimeri 478*.
— pudica 480. 481*. 482.
Mimosen, Tag- und Nachtstellung der Blätter 254.
Mistel 224. 225*. 347—352. 348*. 349*. 351*.
Mittelkamelle der Zellwand 26.
Mittelmeerflora, Häufigkeit behaarter Blätter 233.
— Häufigkeit der Rutengewächse 246.
— Häufigkeit des Distelblattes 121.
— Häufigkeit des Phryganagestrüppes 131.
— Häufigkeit des Rollblattes 222.
— Häufigkeit firnisüberzogener Pflanzen 228.
Mohl, Hugo v. 16. 24.
Mohn 297.
Möhre 475*.
Moleküle, Umordnung im Protoplasma 48.
Monokotyledonen 16.
Monopetalen 16.
Monotropa 413—414.
Moospflanzen, Häufigkeit des Rollblattes 220.
Morphin 290.
Morphologie 9. 14. 15.
Mucor Mucedo 381. 398*.
Müller, D. J. 20.
Müllerische Körperchen 423*. 424.
Mutterformpilz 387†. 388.
Myrmecodia 425.
Myrmecophile Pflanzen 422—425. 423*.
Myrosin 292.
Myrtaceen, Vertikalstellung der Blattspalten 252.
Myzomyzeten, s. Schleimpilze.
Myzelium der Pilze 381.
Myzelmantel der Nichtenpargelwurzeln 413—414.
— der Waldbäume 407—410.
N.
Nachtstängengewächse, Anisophyllie 150.
Nabelblatt 119.
Nadelhölzer, Blattbau 274.
Nährboden der Pflanzen 58†.
Nährsalze 55—64.
Nährsalzgehalt des Bodens 68—71.
Nährsalzlösungen, Konzentration 62.
Nardus stricta 117.
Natrium 58. 66.
Natterkopf 125*. 126.
Nebenblätter als Transpirationsschutz junger Laubblätter 264.
— bornige 135.
Nees von Esenbeck 370.
Neottia Nidus avis 410.
Nepenthes 308*. 311*. 316—319. 317*. 319*.
Nephrodium Filix mas 209*.
Nerium Oleander 212. 224. 225*.

Nervatur der Blätter 105—106.
107*.
Nesseln 127.
Nestwurz 410.
Nidendwerden der Blüten 475*.
476.
Nieswurz, schwarze 95.
Nitotin 290.
Nitrate 55.
Nitrobakterien als Nitratbildner
im Boden 84.
— Symbiose mit Leguminosen
415—416.
Nomenklatur, botanische 6.
Nopale (Stamm-Succulenten) als
Saftpflanzen 243*. 244*.
Noctofazeeen als Flechtenbildner
403. 404. 406.
— als Wasserfallbewohner 66.
Nulliporenalkalibänke 88. 90†.

D.

Oberhautzellen als Verdunstungs-
schutz 54.
Odontites lutea 347.
Ohrblatt 410—411. 411†.
Ohrchen der Lebermoose 156.
Oidium Tuckeri 386. 387†.
Oleander 212. 224. 225*.
Olive 187†.
Opium 297.
Opuntia 125. 243.
Orchideen, chlorophyllose 410.
— epiphytische, mit bandförmigen
Saftwurzeln 340. 341*.
— epiphytische, mit Dickblättern
242.
— epiphytische, mit Luftwurzeln
158*. 159. 160*. 161—
162.
Orchideenpilz 411.
Orchideensamen 95. 411.
Organische Säuren 291.
Organographie 17.
Orobanche 364—366.
Oscillaria 34. 86. 393.
Osmotischer Druck in den Lei-
tungsbahnen 193.
— Druck in den Zellen 189.
301.
Oxalis, Blattbewegungen 254.
— Faltung der jungen Blätter
263. 265*.
— Wasserspalten 171*. 172.
Oxalsäure 57. 287. 291.
Oxalsaurer Kalk 57. 116.

P.

Palisadenzellen 22†. 105. 106*.
199.
Pandorina 33.
Papaver somniferum 297.
Papayin 293.

Papiermaulbeerbaum, s. Brous-
sonetia.
Papillen der Blattohaut als Be-
nehzugschutz 210.
Paracelsus, Bombastus 4.
Parasitismus 355.
Pasteur 444.
Pediastrum 35*. 36.
Pedicularis 342. 345. 346.
Peltigera 402†.
Penicillium 396. 398*.
Peperomia arifolia 209*.
Pepin 292.
Periodizität, jährliche, in der Laub-
tätigkeit 274.
Peronospora 385*. 387.
Peyssonuella rubra 90†.
Peziza Willkommii 386. 391.
Pfahlwurzel 79.
Pfeffer 302.
Pfeffer, Wilhelm 19.
Pfefferkraut 152.
Pflanzenanatomie 9.
Pflanzenarten, Zahl 9.
Pflanzenbeschreibung (=Morpho-
logie) 15.
— (=Terminologie) 7.
Pflanzenkrankheiten 387†.
Pflanzennahrung, Rohstoffe 50.
Pflanzenphysiologie 18.
Pflanzenpsychie 49.
Pflanzenstoffe 286—293.
Pflanzenverzeichnisse 8.
Pflanzenzellen 21*.
Pfriemen gras 257*. 259.
Phajus Wallichii 161†.
Phalaenopsis Schilleriana 340.
Phänologie 446—455.
Pharmakopolen 4.
Phaseolus 255.
Philodendron Lindenii 162. 163*.
— pertusum 198.
Phosphor 56.
Phosphorsaures Kalium 57.
— Natrium 57.
Phragmidium subcoorticium 386.
Phragmites communis 110†.
Phrygana 130. 233.
Phytoerythrin 289.
Phytochan 289.
Phytohämin 289.
Phyllanthus 249. 250*.
Phyllodien 251.
Phyllodien 248.
Phytocrene 189.
Phytol 92.
Phytophthora infestans 387.
Pilotyles 376. 377*. 378.
Pilze als Ernährungsgeossen von
Algen 401.
— als Ernährungsgeossen von
Chlorophyllpflanzen 406.
— als Parasiten 380—391.
— Leuchterscheinungen 437.
— Wärmeentwicklung in den
Sporenlägern 432.

„Pilzgärten“ der Ameisen 422.
Pilzmantel der Fichtenpargel-
Wurzeln 413—414.
— der Waldbaum-Wurzeln 407
bis 410.
Pilzmyzelium 381.
Pilzsporen 381.
Pinguicula 319—322. 320†*.
Pinus humilis 469—470. 471*.
— strobilus 283†.
Piptoccephalis Freseniana 381.
Plagiocchilla 418.
Plasmahaut als semipermeable
Membran 302.
— Bau 301.
Platyserium alaicorne 339*.
Pleurozia gigantea 418. 419*.
Plinius 5. 9.
Plumbaginazeen, Blattblau 175.
Podophyllum peltatum 268.
Podostemazeen als Wasserfall-
bewohner 66.
Pollin 14.
Polygonum viviparum 435.
Polyphagus Euglenae 382*. 383.
Polyporus 386. 398†.
Polytrichum 156. 199. 261*.
Populus tremula 108. 177.
Porlieria hygrometrica 255.
Poröse Zellen der Weiß- und Torf-
moose 157. 158*.
Potamogeton crispus 472. 473*.
Potentilla Carniolica 170*. 171.
172.
Pothos celatocaulis 164*.
Prolepis 10. 11.
Proteazeen mit Dickblättern
242.
— mit versenkten Spaltöffnun-
gen 212*. 241.
— mit vertikalen Blattspalten
252.
Proteinförner 287. 288*.
Prothallium der Lycopodien 412.
413*. 414*.
Protoplasma als kolloidale Lösung
41.
— Bedeutung des Namens 24.
— chemische Zusammensetzung
40 ff.
— Einheit innerhalb der Pflanze
45.
— Entdeckung 24.
— Hautschicht 38.
— Kullieren 39.
— Strömung 25*. 36—44. 36†.
— Struktur 41.
— Tötung durch Erfrieren 459.
460. 462—463.
— Tötung durch Wärme 455.
— Widerstandsfähigkeit gegen
Frost 463. 464.
Protoplasmafäden zwischen den
Zellen 45. 47. 48.
Protoplasmaströmung 37†.
Protoplasten, Begriff 25.

- Protoplasten, Bewegungen freier
 28—36.
 — Bewegungsfähigkeit 40.
 — bewimperte 28. 31. 32. 33.
 — kriechende 33—34. 33*.
 — schwärmende 28*. 29.
 — schwimmende 28—29. 30f.
 — Tätigkeit 27.
 — Teilung 47.
 — Verschmelzung 30.
 — Verständigung zwischen den P.
 einer Pflanze 48.
Prunus avium 265*.
 Pseudomorphosen 366.
 Pseudopodien 33.
Puccinia graminis 388.
- R.**
- Rafflesiaceen als Schmarotzer-
 pflanzen 376—380.
 Raphiden 116. 280. 288*.
Raphidophora decursiva 335f.
 Raubblätter 126.
 Raubgras 258*. 259.
 Reaumurien, Salzausscheidung
 176.
 Regenwasserableitung 77—83.
 — bei *Mimosa pudica* 482.
 Reifen, botanische 7. 8.
 Reitende Blätter 251.
 Reizbarkeit, geotropische 74—76.
 Reizbewegungen der Blätter der
 Sensitiven 479—483.
 — der Blätter von *Aldrovandia*
 330.
 — der Blätter von *Dionaea*
 328.
 — der Wimpern des Sonnentau-
 blattes 323—325.
 Reizborsten von *Dionaea* 327*.
 Reiserbstoffe 292.
 Reizgräser 110f.
 Rhinanthaceen als Schmarotzer
 342—347. 361.
Rhizidiomyces apophysatus 382*.
 383.
Rhizocarpon geographicum 81f.
 Rhizoiden 72. 157.
 Rhizotomen 4. 5.
Rhododendron hirsutum 465.
Rhopalocnemis phalloides 371*.
 372—373.
Rhus 283f.
Ricinus communis 295*.
 Riemenblume 351*. 353—355.
 Rindenparenchym 296*.
 Rindenwurzeln der Mistel 350.
 Ringgefäß 46*.
 Rinnen der Laubblätter als Saug-
 vorrichtung 178. 179*.
 Ribulariaceen als Flechtenbildner
 403.
Robinia Pseudacacia 133*. 134.
 151.
Rochea falcata 239*. 240.
- Rohrartige Gewächse, drehbare
 Blätter 111.
 — Gewächse, Regenwasserablei-
 tung 83.
 Röhrenblätter 109.
 Rohrzucker 289.
 Rollblatt 216—222. 217*. 218*.
 230.
 Rollung der Blätter in der Knos-
 penlage 262.
Roridula 326.
 Rosettenblätter 139.
 Roskastanie 277*. 279*.
 Rospilze als Schmarotzer 387f.
 Rotang 196*.
 Roter Schnee 22f. 30f. 30f.
 Roth, W. B. 304.
 Ruheperiode der Pflanzen 453.
 Runzelung der Blätter in der
 Knospenlage 263.
 — der Blattspitzen 241.
Ruscus 119. 248. 249*.
 Rußpilze als Saprophyten
 421.
 Rüster 148*.
 Rutengewächse 246*. 247*.
- S.**
- Saccharomyceten als Gärungs-
 erreger 440. 441*.
Saccolobium guttatum 161f.
 Sachs, Julius 18. 91.
 Sadebaumrost 388.
 Saftausfluß an Baumstämmen
 189—190. 194.
 Saftpflanzen 243.
 Saftsteigen 186. 187. 188. 189—
 190. 191. 193—194.
Sagittaria sagittifolia 110f.
 Salat 297.
Salix reticulata 217*.
 Salpeter als Pflanzennährstoff
 55.
 Salpeterbakterien, s. Nitrobakte-
 rien.
 Salpetersäure in der Pflanze
 287.
 Salpetersäure Salze 55.
 Salsolaceen, Salzgehalt 245.
 Salzausscheidungen der Blätter
 175. 228.
 Salze als wasserhaltende Pflan-
 zenbestandteile 245.
 Salzpflanzen 63.
 Samenlappen 11.
 Samthaare 235. 236*.
Sanguinaria Canadensis 297.
 Santalaceen als Schmarotzer 342.
 347.
 Saponin 290.
 Saprolegniaceen als Schmarotzer
 383.
 Saprophyten 380. 391—400.
Sarcanthus rostratus 340. 341*.
Sarcina ventriculi 443*.
- Sarcophaga Sarraceniae* 313.
Sarcophyte sanguinea 373*. 374.
Sarracenia Drummondii 314.
 — *laciniata* 311*.
 — *purpurea* 308*. 309*. 310.
 — *undulata* 314.
 — *variolaris* 311*. 312. 313.
 314.
Satureja hortensis 152.
 Sauerdorn 134.
 Sauerflee, s. Oxalis.
 Sauerstoff als Erfordernis für die
 Atmung 427.
 — als Pflanzennahrung 56.
 Sauggrübchen an Laubblättern
 173*.
 Saugkolben der Schmarotzerpilze
 385.
 Saugnäpfe an Laubblättern 173*.
 Saugwarzen der Schuppenwurz
 362.
 — der Wurzel-schmarotzer 343—
 344. 345.
 — von *Cuscuta* 358—359. 358*.
 Saugzellen der Wurzelhaare 71—
 73. 76.
 Säureausscheidung der Wurzel-
 haare 73.
 Saussure, Th. de 30. 56.
Saxifraga aizoon 139*. 173*.
 174.
 Scharfe Blätter 124.
 Schattenpalme 203. 204f.
 Schattenpflanzen 100.
 Scheibepilz 386. 391.
 Scheinfußchen 33.
 Schein-schmarotzer, s. Epiphyten.
 Schimmelpilze als Saprophyten
 85. 396.
Schistostega osmundacea 101.
 102*.
 Schlafbewegungen der Laubblät-
 ter 477.
 Schlammfangende Wasserpflan-
 zen 87.
 Schlauchblätter 308. 309. 310.
 Schlauchpflanzen 309.
 Schlauchpilze, s. Ascomyceten.
 Schleiden 24.
 Schleimpilze als Parasiten 380.
 — als Verwesungspflanzen 393.
 394*.
 — Bewegungen 33.
 — Nahrungsaufnahme 51.
 Schließzellen der Spaltöffnungen
 200. 223*.
 Schmarotzer, Chlorophyllfreie 355
 bis 400.
 — grünbelaubte 342—347.
 — windende 356—360.
 Schmarotzerpilze 380—391.
 Schmetterlingsblütler als Stid-
 stoffbildner 415.
 Schneeball 265*. 266.
 Schneedecke als Frostschutz 467.
 468. 469. 470.

- Schneedruck 276.
 Schöllkraut 297. 420.
 Schott 369.
 Schotenklee 478*.
 Schraubenblätter 109.
 Schülferige Blätter 238.
 Schuppenblätter der Koniferen
 139*. 140. 242.
 — der Schuppenwurz 362.
 363*.
 — der Wacholdermistel 352.
 Schuppenwurz 360—364.
 Schutzrichtungen gegen hohe
 Temperaturen 457—458.
 — gegen zu starke Beleuchtung
 151.
 Schutzstoffe der Pflanzen 116.
 Schwammparenchym 105. 106*.
 200*. 205. 217.
 Schwamm 24.
 Schwärmsporen der Algen 22†.
 23. 28. 29. 31—32.
 — mikroskopischer Schmarotzer-
 pilze 383.
 Schwarzbappel 421.
 Schwefel 56.
 Schwefelsaurer Kalk 57.
 Schwimmbewegungen der
 Schwärmsporen 23.
 Schwimmblätter der Wasserpflan-
 zen 113.
 Schwingelgras 256. 257*. 258*.
 259*.
 Seybalium 369*.
 Scytonemazeen als Flechtenbild-
 ner 403.
 Sedum 241. 244.
 Seerose 204. 207.
 Seitenhaare 235. 236*.
 Seitenzweige, Richtung zur Hori-
 zontalen 142.
 Sekretionshaare von *Utricularia*
 306.
 Selaginella 149. 150*.
 Senfer der Mistel 350. 352.
 Sensitive 480.
Sesleria tenuifolia 256*.
 Sichelbolde 475*.
 Siebröhren 45. 46*. 296*. 297.
 300.
 Signaturlehre 4.
 Silberlinde 253.
 Silizium 56.
Silphium laciniatum 252. 253*.
 — *perfoliatum* 180*.
 Solanazeen, Anisophyllie 150.
Solanum Dulcamara 143. 146.
Soldanella 433†. 434. 435.
 Sommersporen der Rostpilze
 387.
 Sommerwurz 364—365*.
 Sonnenlicht, Bedeutung für die
 Stärkesynthese 97—98.
 Sonnenröschen 143*. 145.
 Sonnentau 320†. 322—327.
 323*.
Sophora Japonica 410.
Sorbus Aucuparia 263.
 Soredien der Flechten 405.
 Spaltöffnungen als Einfallspforten
 für Schmarotzerpilze 384.
 — als Regler der Transpiration
 222—223.
 — Bau 54. 106*. 170*. 200—
 201. 223*.
 — eingesenkte 211. 212. 213*.
 — Einrichtungen zur Offenhal-
 tung 205.
 — Lage 206.
 — überwölbte 211. 212*.
 — vorgewölbte 209*.
 Spaltpilze, s. Bafterien.
Spartium junceum 246*. 247*.
Spathularia 394.
 Spermatozoiden der Algen, Moose
 und Farne 28*. 29*.
 Spermogonien der Rostpilze 388.
 „Spezies“ 7.
Sphaerella nivalis 22†. 30†.
 — *pluvialis* 32.
Sphagnum 157.
 Spiralfasern 46*.
Spirillum Obermeieri 443*.
Spirochaete Cholerae asiaticae
 443*.
Spirogyra 22†. 35. 382.
 Spiroiden 325.
 Spitzhorn 141*. 142*. 145.
 Splachnazeen als Saprophyten
 400.
 Sporenbildung der Kryptogamen
 16.
 Sporenfrüchte der Pilze 381. 385
 bis 386.
 Sporenträger der Hutpilze 395.
 Sprache, botanische 7.
Spumaria alba 393. 394*.
 Stacheln 118.
 Stachelrajen 119. 120*.
 Stachel 168.
 Stammesmerkmale 17.
 Stammsukkulente 243*. 244*.
 Stärke 288*. 298—300. 299*.
 Stärkebildner (Leucoplasten) 298.
 Stärkescheiden 300.
 Stärkesynthese 91. 96—98.
 Staubfang durch Pflanzen 87.
 Staubgefäße 14.
 Stachelborsten 125*. 126.
 Stachelpalme 224. 225*.
 Steinbrech 173*. 174.
 Steinpilz 433.
Stellaria media 181*. 182. 183*.
 Stellungswechsel der Blätter bei
 Beleuchtungswechsel 151—152.
 Stengel, chlorophyllhaltige 95.
 — fleischige, der Sukkulente
 242—244.
 Stengelhaare als Saugorgane 182.
 183*.
 Steppenflora, Häufigkeit behaar-
 ter Blätter 232—233.
 Steppenflora, Häufigkeit der
 Zwiebelpflanzen 234.
 — Häufigkeit dorniger Halb-
 sträucher 131.
 — Wasseraufnahme durch die
 Blätter 175.
 Sternhaare 236*. 237*. 238.
 Stickstoff 55. 56.
 Stiefmütterchen 475*. 476.
Stipa capillata 257*. 259. 260.
 Stoffwanderung im Herbst 280—
 281.
 — in der Vegetationsperiode
 293—302.
 — Ursache 62.
 Stoffwechsel der Pflanze 286.
 Strangprotoplasma 24. 36. 37†.
Stratiotes aloides 472.
 Strauchflechten 402†.
 — Bau und Entstehung 402.
 403*.
 Strychnin 290.
 Suberin 47. 288.
 Sukkulente 243.
 Sumpfpflanzen, Atmung 428.
 — Blattbau 112—113. 204.
 — mit Hautpapillen 210.
 — Nahrungsaufnahme 67.
 Süßstoff in der Pflanze 289.
 Süßwasseralkalibildung 90.
 Symbiose 401.
 Systematik 7. 8. 16.
 T.
 Tag- und Nachtstellung der Blätter
 254.
 Tamarisken 176. 177.
 Tange als Epiphyten 337.
 — fester Bau 112.
 — Leuchterscheinungen 104.
 — Nährstoffaufnahme 65.
 — Quellung 64.
 — Tiefengrenze des Wachstums
 103.
 Tannin 290.
Taphrina 391.
 Taubehrer 169. 181*. 263.
 Taubblatt 331—332. 333*.
Tayloria 400.
 Teleutosporen 388.
 Terpene, Terpentinöl 290.
Tetragonolobus siliquosus 478*.
 Tetraplodon 400.
Teucrium montanum 366.
 Teufelswurz 356†. 357*. 358*.
 Theophrast 5. 9.
 Thermische Vegetationskonstanten
 447—450.
Thesium alpinum 343*.
Thlaspi alpinum 138*.
Thuja 283†.
Tilia 253.
Tillandsia usneoides 167.
 Tillandsien als Wirtspflanzen von
 Utricularien 307.

Todea barbara 162.
Tödliche Temperaturgrade 455—459.
Tollfirsche 150*.
Tonerde 58.
Torfmoose, Wasseraufnahme 157. 158*.
Tornelia fragans 198.
Tracheiden 187.
Tragant 289.
Tragantsträucher, Dornenbildung 133*.
Transpiration 185—285.
— Begriff 192.
Transpirationsorgane 198—201.
Transpirationsstrom 185—188. 192—198.
Transpirationszellen der Moose 199.
Transversalheliotropismus 136. 141.
Trapa natans 452.
Traubenschimmel 386. 387†.
Tränselfspitze 168*.
„Treiben“ der Pflanzen 453.
Trennungsschicht, herbstliche, der Blätter 277*. 278.
Trimethylamin 290.
Trüffel 389.
Tsuga canadensis 283†.
Tulpe 14†.
Tulpenbaum 264. 267*.
Tüpfelbildung 43. 44*.
Tüpfelgefäße 46*.
Turgejenz 188.
Tylanthus ericoides 217*.
Typha angustifolia 110†.
Tyrosin 291.

II.

Übergangsformen zwischen den Blattformen 14.
Ulmus 148*.
Ulothrix 39*.
Umbilicaria pustulata 81†.
Umwallungen, durch Schmarotzerpflanzen erzeugt 354. 355.
Uredineen 387.
Uredosporen der Rostpilze 387.
Urnenblätter 165*. 166.
Urtica 125*. 127.
Usnea 402†.
Ustilagineen als Schmarotzer 388.
Utricularia 304—307.

B.

Bakuiolen 36. 37†. 40.
— pulzierende 39.
Vaucheria 22. 29.
Vegetationskonstanten, thermische 447—450.
Veilchenstein 86†.
Velamen der Luftwurzeln 159.
Vella spinosa 130. 133*.

Venusfliegenfalle 326*. 327—329. 327*. 333—334.
Verästelte Haare 238.
Verbascum thapsiforme 128. 237*. 239.
Verbeißen junger Bäume durch Weidetiere 131.
Verdunstungskammern von Marchantia 199.
Vermoderung 84.
Vertikalstellung der Flachspresse 251.
Vertrocknen infolge Abkühlung des Bodens 274.
— infolge niedriger Temperatur 466.
Verwandtschaft der Pflanzenformen 16.
Verwesung 84.
Verweidungspflanzen, s. Saprophyten.
Viburnum Lantana 266.
Viola tricolor 475*. 476.
Viscum album 225*. 347—352. 348*. 349*. 351*.
— Oxycedri 352.
Vitis 336†.
Vöchtling, Hermann 19.
Vögel als Samenverbreiter 349.
Vogelbeerbaum 263.
Vogelneist-Farn 339.
Volvox Globator 32†.
Vorfeim der Farne 71. 74. 99.
— der Lykopodien 413.
— des Leuchtmooses 22†. 102*.
Vries, Hugo de 19. 302.

W.

Wacholdermistel 352.
Wachstüften der Suckulentenstämme 244.
Wachstumsbedingungen 445—446.
Wachstumsrichtung 74.
Wachstüberzug der Blätter als Schutz gegen Benetzung 168. 206—207.
— der Blätter als Transpirationsschutz 227.
Wachtelweizen 344. 357*.
Waffen der Pflanzen 118—128. 125*.
Wahlvermögen der Pflanzen 59.
Waldrebe 335.
Walnußbaum 263. 265*.
Wanderstärke 300.
Wandprotoplasma 24.
Wärmeentwicklung in der Pflanze 432.
Wärmetod 455—459.
Wärmeverlust, Schutzmittel 474—483.
Wasser, Bedeutung für die Pflanzen 154—155.
Wasseraufnahme aus der Luft 155 bis 167.
— durch besonders gebaute Blätter 173—185.
Wasserausscheidung durch Laubblätter 169.
Wasserausscheidungsdrüsen 169.
Wasserbeden an den Laubblättern 179. 180*. 181. 182.
Wasserbewegung in der Pflanze 186.
Wasserblasen 239*. 240. 245.
Wasserfarn 254.
Wassergehalt der Pflanzen 155. 465.
Wasserkultur 56.
Wassernuß 35*. 36.
Wassernuß 76. 452.
Wasserpflanzen, Aufnahme der Nährsalze 64.
— Aufnahme von Kohlenensäure 53.
— Bildung von Überwinterungsprossen 472.
— Blattbildung 111—112.
— festgewachsene 64.
— mit Kalkinkrustationen 89.
— Sauerstoffaufnahme (Atmung) 428.
— schwebende 64.
Wasserschere 472.
Wasserschlauchgewächse 304—307. 305*.
Wasserspalt 169—172. 170*. 171*.
Wasserpeicher der Epiphyten 271.
— der Suckulenten 244. 245.
Wasserstoff 56.
Weichbast 296.
Weidende Tiere als Baumverstämmeler 131.
Wein, wilder 336.
Weinsäure 291.
Weißdorn 130.
Weißmoose, Wasseraufnahme 157. 158*.
Welken der Pflanzen 222.
Wermut 234. 238.
Widerhaken 123.
Widerionmoose, Transpiration 199.
— Wasseraufnahme 156.
— Zusammenfallen 261*.
Wimpern der Schwärmsporen 28. 32. 33.
— des Sontentaublattes 322. 323*.
Winterknospen von Aldrovandia 330.
— von Utricularia 304. 330.
Wintersporen der Rostpilze 388.
Winterprosse der Wasserpflanzen 472.
Wirtspflanzen 343.
Wirtswechsel der Rostpilze 388.
Witterungsvermögen der Pflanzen 75.

- Wolff, Kaspar Friedrich 10.
 14.
 Wolfsmilch 297.
 Wollhaare 235. 236*.
 Wurzelanschläge der Mistel 352.
 — der Riemenblume 355.
 Wurzelbruch 188—191. 198.
 Wurzelhaare 71. 72*. 73. 76. 77.
 — an Luftwurzeln 162. 163*.
 Wurzelschmarotzer, grünbelaubte
 342—347.
- x.
- Xanthoptera semicrocea 313.
- y.
- Yucca, Symbiose mit Motten
 420.
- z.
- Zetropien 422.
 Zelle 16. 20. 21. 25.
- Zellenleib 24.
 Zellenstruktur der Pflanzen 21.
 Zellgewebe 26.
 Zellhaut, s. Zellwand.
 Zellinhalt 24.
 Zellkammern 26*.
 Zellkern 28. 40.
 — als Zentralorgan des Zellen-
 leibes 47.
 — Bewegungen 25*. 38.
 — Entdeckung 24.
 — Teilung 47.
 Zellsaft 36. 40.
 Zellstoff 42. 288. 289.
 Zellverbindungen 27.
 Zellwand (Zellhaut), Auflösung
 45.
 — Bau 26. 42—44. 301.
 — Bedeutung für die Stoffwan-
 derung 300—301.
 — Begriff 24.
 — Imbibitionsfähigkeit 302.
- Zellwand, Verdickung 43.
 — Vergrößerung 42.
 Zellulose 42. 288. 289.
 Zistrose 228.
 Zitronensäure 291.
 Zitterpappel 108. 177.
 Zonotrichia 34.
 Zottige Haare 235. 237*.
 Zuder 97.
 Zuleitungszellen 298.
 Zusammenfallen der Grasblätter
 255—260. 256*. 257*.
 — der Moosblätter 261*.
 Zwergwacholder 470.
 Zwiebeln als Überwinterungs-
 organe 470.
 — oberirdische, der Epiphyten
 270.
 Zwiebelpflanzen in der Steppe
 234.
 Zylindrische Zellen 294.
 Zymase 441.

Druck vom Bibliographischen Institut in Leipzig.

Verlag des Bibliographischen Instituts in Leipzig.

Enzyklopädische Werke.

	M.	Pf.
Meyers Grosses Konversations-Lexikon, sechste Auflage. Mit 16831 Abbildungen, Karten und Plänen im Text und auf 1522 Illustrationstafeln (darunter 180 Farbendrucktafeln und 343 Kartenbeilagen) sowie 160 Textbeilagen. Gebunden, in 20 Halblederbänden je	10	—
Gebunden, in 20 Liebhaber-Halblederbänden, Prachtausgabe je	12	—
Ergänzungsband und drei Jahres-Supplemente dazu. Mit vielen Illustrationstafeln, Karten und Plänen. Bandpreise wie beim Hauptwerk.		
Meyers Kleines Konversations-Lexikon, siebente Auflage. Mit 639 Illustrationstafeln (darunter 86 Farbendrucktafeln und 147 Karten und Pläne) sowie 127 Textbeilagen. Gebunden, in 6 Halblederbänden je	12	—
Meyers Hand-Lexikon des allgemeinen Wissens, sechste Auflage. Mit 1220 Abbildungen auf 80 Illustrationstafeln (darunter 7 Farbendrucktafeln), 32 Haupt- und 40 Nebenkarten, 35 selbständigen Textbeilagen und 30 statistischen Übersichten. Gebunden, in 1 Halblederband	20	—
Gebunden, in 2 Halblederbänden je 11 Mk. — in 2 Liebhaberbänden je	12	—

Naturgeschichtliche Werke.

	M.	Pf.
Brehms Tierleben, vierte Auflage. Mit über 2000 Abbildungen im Text und auf mehr als 500 Tafeln in Farbendruck, Ätzung und Holzschnitt sowie 13 Karten. (Im Erscheinen.) Gebunden, in 13 Halblederbänden je	12	—
Brehms Tierleben, Kleine Ausgabe. Dritte, neubearbeitete Auflage von Dr. Walther Kahle. Mit etwa 500 Abbildungen im Text und 150 Tafeln in Farbendruck, Ätzung u. Holzschnitt. (Im Erscheinen.) Geb., in 4 Leinenbänden je	12	—
Brehms Tierbilder. Zweiter Teil: Die Vögel. 60 farbige Tafeln aus „Brehms Tierleben“ von Wilhelm Kuhnert und Walter Heubach. Mit Text von Dr. V. Franz. (Der erste und der dritte Teil, enthaltend die „Kaltblüter“ und die „Säugetiere“, befinden sich in Vorbereitung.) In Leinenmappe	12	—
Der Mensch, von Prof. Dr. Joh. Ranke. Dritte Auflage. Mit 695 Abbildungen im Text, 64 Tafeln in Farbendruck, Tonätzung und Holzschnitt und 7 Karten. Gebunden, in 2 Halblederbänden je	15	—
Völkerkunde, von Prof. Dr. Fr. Ratzel. Zweite Auflage. Mit 1103 Textbildern, 6 Karten und 56 Tafeln in Farbendruck usw. Geb., in 2 Halblederbänden je	16	—
Die Pflanzenwelt, von Prof. Dr. Otto Warburg. Mit etwa 900 Abbildungen im Text und 80 Tafeln in Farbendruck und Ätzung. (Im Erscheinen.) Gebunden, in 3 Halblederbänden je	17	—
Pflanzenleben, von Prof. Dr. A. Kerner von Marilaun. Dritte, von Prof. Dr. A. Hansen neubearbeitete Auflage. Mit etwa 600 Abbildungen im Text, 1 Karte und 80 Tafeln in Farbendruck, Ätzung und Holzschnitt. (Im Erscheinen.) Gebunden, in 3 Halblederbänden je	14	—
Erdgeschichte, von Prof. Dr. Melchior Neumayr. Zweite, von Prof. Dr. V. Uhlig bearbeitete Auflage. Mit 873 Abbildungen im Text, 4 Karten und 34 Tafeln in Farbendruck und Holzschnitt. Gebunden, in 2 Halblederbänden . . je	16	—
Das Weltgebäude. Eine gemeinverständliche Himmelskunde. Von Dr. M. Wilhelm Meyer. Zweite Auflage. Mit 291 Abbildungen im Text, 9 Karten und 34 Tafeln in Farbendruck, Ätzung und Holzschnitt. Gebunden, in Halbleder	16	—
Die Naturkräfte. Ein Weltbild der physikalischen und chemischen Erscheinungen. Von Dr. M. Wilhelm Meyer. Mit 474 Abbildungen im Text und 29 Tafeln in Farbendruck, Ätzung und Holzschnitt. Gebunden, in Halbleder . .	17	—
Leitfaden der Völkerkunde, von Prof. Dr. Karl Weule. Mit einem Bilderatlas von 120 Tafeln (mehr als 800 Einzeldarstellungen) und einer Karte der Verbreitung der Menschenrassen. Gebunden, in Leinen	4	50

Ausführliche Prospekte zu den einzelnen Werken stehen kostenfrei zur Verfügung.

	M.	Pf.
<i>Bilder-Atlas zur Zoologie der Säugetiere</i> , von Professor Dr. W. Marshall . Beschreib. Text mit 258 Abbildungen. Gebunden, in Leinen . . .	2	50
<i>Bilder-Atlas zur Zoologie der Vögel</i> , von Professor Dr. W. Marshall . Beschreibender Text mit 238 Abbildungen. Gebunden, in Leinen . . .	2	50
<i>Bilder-Atlas zur Zoologie der Fische, Lurche und Kriechtiere</i> , von Prof. Dr. W. Marshall . Beschreibender Text mit 208 Abbildungen. Gebunden, in Leinen	2	50
<i>Bilder-Atlas zur Zoologie der Niederen Tiere</i> , von Prof. Dr. W. Marshall . Beschreib. Text mit 292 Abbildungen. Gebunden, in Leinen	2	50
<i>Bilder-Atlas zur Pflanzengeographie</i> , von Dr. Moritz Kronfeld . Beschreibender Text mit 216 Abbildungen. Gebunden, in Leinen	2	50
<i>Kunstformen der Natur</i> . 100 Tafeln in Farbendruck und Ätzung mit beschreibendem Text von Prof. Dr. Ernst Haeckel . In zwei eleganten Sammelkasten 37,50 Mk. — Gebunden, in Leinen	35	—

Geographische Werke.

	M.	Pf.
<i>Allgemeine Länderkunde, Kleine Ausgabe</i> , von Prof. Dr. Wilh. Sievers . Mit 62 Textkarten und Profilen, 33 Kartenbeilagen, 30 Tafeln in Farbendruck, Ätzung und Holzschnitt und 1 Tabelle. Gebunden, in 2 Leinenbänden . . je	10	—
<i>Die Erde und das Leben</i> . Eine vergleichende Erdkunde. Von Prof. Dr. Friedrich Ratzel . Mit 487 Abbildungen im Text, 21 Karten und 46 Tafeln in Farbendruck, Ätzung und Holzschnitt. Geb., in 2 Halblederbänden . je	17	—
<i>Afrika</i> . <i>Zweite Auflage</i> von Prof. Dr. Fr. Hahn . Mit 173 Abbildungen im Text, 11 Karten und 21 Tafeln in Farbendruck, Ätzung usw. Geb., in Halbleder	17	—
<i>Australien, Ozeanien und Polarländer</i> , von Prof. Dr. W. Sievers und Prof. Dr. W. Kükenthal . <i>Zweite Auflage</i> . Mit 198 Abbildungen im Text, 14 Karten und 24 Tafeln in Farbendruck, Ätzung usw. Gebunden, in Halbleder	17	—
<i>Süd- und Mittelamerika</i> , von Prof. Dr. Wilh. Sievers . <i>Zweite Auflage</i> . Mit 144 Abbildungen im Text, 11 Karten und 20 Tafeln in Farbendruck, Ätzung und Holzschnitt. Gebunden, in Halbleder	16	—
<i>Nordamerika</i> , von Prof. Dr. Emil Deckert . <i>Dritte Auflage</i> . Mit 85 Abbildungen, Kärtchen, Profilen und Diagrammen im Text, 13 Karten und 37 Tafeln in Farbendruck und Ätzung. Gebunden, in Halbleder	16	—
<i>Asien</i> , von Prof. Dr. W. Sievers . <i>Zweite Auflage</i> . Mit 167 Abbildungen im Text, 16 Karten und 20 Tafeln in Farbendruck, Ätzung usw. Geb., in Halbleder	17	—
<i>Europa</i> , von Prof. Dr. A. Philippson . <i>Zweite Auflage</i> . Mit 144 Abbildungen im Text, 14 Karten und 22 Tafeln in Farbendruck usw. Geb., in Halbleder	17	—
<i>Das Deutsche Kolonialreich</i> . Eine Länderkunde der deutschen Schutzgebiete. Herausgegeben von Prof. Dr. Hans Meyer . Mit 12 Tafeln in Farbendruck, 66 Doppeltafeln in Holzschnitt und Ätzung, 54 Kartenbeilagen und 102 Textkarten, Profilen und Diagrammen. Gebunden, in 2 Leinenbänden . je	15	—
<i>Meyers Geographischer Handatlas</i> . <i>Vierte Auflage</i> . 121 Haupt- und 128 Nebenkarten, 5 Textbeilagen und Register aller auf den Karten und Plänen vorkommenden Namen. Gebunden, in Leinen	15	—
<i>Meyers Deutscher Städteatlas</i> . 50 Stadtpläne mit 34 Umgebungskarten, vielen Nebenplänen und vollständigen Straßenverzeichnissen. Herausgegeben von P. Krauss und Dr. E. Uetrecht . Gebunden, in Leinen	8	—

	M.	Pf.
Meyers Orts- und Verkehrslexikon des Deutschen Reichs. Fünfte Auflage. Mit 52 Stadtplänen, 19 Umgebungs- und Übersichtskarten, einer Verkehrskarte u. vielen statist. Beilagen. Geb., in 2 Leinenbänden . je	18	—
Ritters Geographisch-Statistisches Lexikon. Neunte Auflage. Revidierter Abdruck. Gebunden, in 2 Halblederbänden je	25	—
Bilder-Atlas zur Geographie von Europa, von Dr. A. Geistbeck. Beschreibender Text mit 233 Abbildungen. Gebunden, in Leinen	2	25
Bilder-Atlas zur Geographie der aussereuropäischen Erdteile, von Dr. A. Geistbeck. Beschreibender Text mit 314 Abbildungen. Gebunden, in Leinen	2	75
Geographischer Bilderatlas aller Länder der Erde. Von Prof. Dr. Hans Meyer und Dr. Walter Gerbing. Erster Teil: Deutschland in 250 Bildern, zusammengestellt und erläutert von Dr. Walter Gerbing. (Weitere Teile in Vorbereitung.) Gebunden, in Leinen	2	75
Verkehrs- und Reisekarte von Deutschland nebst Spezialdarstellungen des rheinisch-westfälischen Industriegebiets u. des südwestlichen Sachsens sowie zahlreichen Nebenkarten. Von P. Krauss. Maßstab: 1:1500 000. In Oktav gefalzt und in Umschlag 1 Mk. — Auf Leinen gespannt mit Stäben zum Aufhängen	2	25
Gross-Berlin, Charlottenburg und weitere Umgebung. 6 Pläne mit Verzeichnissen sämtlicher Straßen, der Gemeinde- und Gutsbezirke, von öffentlichen Gebäuden, der Straßenbahnen, Stadt- und Vorortbahnen, Omnibuslinien, der zuständigen Bezirkskommandos, Land- und Amtsgerichte, Standesämter, Postämter. Bearbeitet von P. Krauss. In Groß-Oktav gefalzt und in Umschlag	1	—

Welt- und kulturgeschichtliche Werke.

	M.	Pf.
Weltgeschichte. Begründet von Dr. H. F. Helmolt. Zweite, neubearbeitete Auflage, herausgegeben von Dr. Armin Tille. Mit mehr als 1000 Abbildungen im Text, 400 Tafeln in Farbendruck, Ätzung und Holzschnitt und 100 Karten. (Im Erscheinen.) Gebunden, in 10 Halblederbänden je	12	50
Meyers Historischer Handatlas. 62 Hauptkarten mit vielen Nebenkärtchen, einem Geschichtsabriß und 10 Registerblättern. Gebunden, in Leinen . .	6	—
Das Deutsche Volkstum, herausgegeben von Prof. Dr. Hans Meyer. Zweite Auflage. Mit 1 Karte u. 43 Tafeln in Farbendruck, Ätzung u. Holzschnitt. Gebunden, in 2 Leinenbänden zu je 9,50 Mk. — in 1 Halblederband	18	—
Urgeschichte der Kultur, von Dr. Heinrich Schurtz. Mit 434 Abbildungen im Text, 1 Karte und 23 Tafeln in Farbendruck usw. Gebunden, in Leinen	17	—
Geschichte der Deutschen Kultur, von Prof. Dr. Georg Steinhäusen. Zweite, neubearbeitete Auflage. Mit 219 Abbildungen im Text und 22 Tafeln in Farbendruck und Kupferätzung. Gebunden, in 2 Leinenbänden . . je	10	—
Natur und Arbeit. Eine allgemeine Wirtschaftskunde. Von Prof. Dr. Atwin Oppel. Mit 218 Abbildungen im Text, 23 Karten und 24 Tafeln in Farbendruck, Ätzung und Holzschnitt. Gebunden, in 2 Leinenbänden je 10 Mk. — in 1 Halblederband	20	—

Literatur- und kunstgeschichtliche Werke.

	M.	Pf.
Geschichte der Deutschen Literatur, von Prof. Dr. Friedr. Vogt und Prof. Dr. Max Koch. Dritte Auflage. Mit 173 Abbildungen im Text, 31 Tafeln in Farbendruck, Tonätzung, Kupferstich und Holzschnitt, 2 Buchdruck- und 43 Faksimilebeilagen. Gebunden, in 2 Halblederbänden je	10	—
Geschichte der Englischen Literatur, von Prof. Dr. Rich. Wülker. Zweite Auflage. Mit 229 Abbildungen im Text, 30 Tafeln in Farbendruck, Tonätzung usw. und 15 Faksimilebeilagen. Gebunden, in 2 Halblederbänden . . je	10	—
Geschichte der Italienischen Literatur, von Prof. Dr. B. Wiese und Prof. Dr. E. Percopo. Mit 158 Textabbildungen und 31 Tafeln in Farbendruck, Kupferätzung und Holzschnitt und 8 Faksimilebeilagen. Geb., in Halbleder	16	—

	M.	Pf.
<i>Geschichte der Französischen Literatur</i> , von Professor Dr. Hermann Suchier und Prof. Dr. Adolf Birch-Hirschfeld . <i>Zweite Auflage</i> . Mit 169 Abbildungen im Text, 25 Tafeln in Farbendruck, Kupferätzung und Holzschnitt und 13 Faksimilebeilagen. Gebunden, in 2 Halblederbänden . . . je	10	—
<i>Weltgeschichte der Literatur</i> , von Otto Hauser . Mit 62 Tafeln in Farbendruck, Tonätzung und Holzschnitt. Gebunden, in 2 Leinenbänden . . . je	10	—
<i>Geschichte der Kunst aller Zeiten und Völker</i> , von Prof. Dr. Karl Woermann . Mit 1361 Abbildungen im Text und 162 Tafeln in Farbendruck, Tonätzung und Holzschnitt. Gebunden, in 3 Halblederbänden . . . je	17	—

Wörterbücher.

	M.	Pf.
<i>Orthographisches Wörterbuch der deutschen Sprache</i> , von Dr. Konrad Duden . <i>Achte Auflage</i> . Gebunden, in Leinen	1	60
<i>Orthograph. Wörterverzeichnis der deutschen Sprache</i> , von Dr. Konrad Duden . <i>Zweite Auflage</i> . Gebunden, in Leinen	—	50
<i>Handwörterbuch der deutschen Sprache</i> , von Dr. Daniel Sanders . <i>Achte Auflage</i> von Dr. J. Ernst Wälfing . Geb. in Leinen . . .	10	—

Verschiedenes.

	M.	Pf.
<i>Moderne Technik</i> . Die wichtigsten Gebiete der Maschinenteknik und Verkehrstechnik allgemeinverständlich dargestellt und erläutert durch zerlegbare Modelle. Herausgegeben von Ingenieur Hans Blücher . Mit 1391 Abbildungen im Text und 15 zerlegbaren Modellen. Gebunden, in 2 Leinenbänden . . . (Die „Moderne Technik“ ist auch in 11 selbständigen, einzeln käuflichen Sonderabteilungen erschienen.)	40	—
<i>Das Gerichtswesen des Deutschen Reichs</i> . (Die Oberlandesgerichtsbezirke, mit farbiger Karte. — Die Amtsgerichte mit zuständigen Obergerichten und Gerichtstagen. — Die Gerichts- und Forstgerichtstagsorte mit ihren zuständigen Amtsgerichten. — Übersicht der Schutzbezirksgerichte. — Gerichtsverfassung und Gerichtskosten.) Geheftet	—	75

Meyers Klassiker-Bibliothek.

	M.	Pf.		M.	Pf.
Arnim , herausgeg. von J. Dohmke , 1 Band	2	—	Kleist , herausgegeben von E. Schmidt , 5 Bde.	10	—
Brentano , herausg. von M. Preitz , 3 Bände	6	—	Körner , herausg. von H. Zimmer , 2 Bände	4	—
Bürger , herausg. von A. E. Berger , 1 Band	2	—	Lenau , herausg. von C. Schaeffer , 2 Bände	4	—
Chamisso , herausg. von H. Turdel , 3 Bände	6	—	Lessing , herausg. von G. Witkowski , 7 Bde.	14	—
Eichendorff , herausg. von R. Dietze , 2 Bände	4	—	O. Ludwig , herausg. von V. Schweizer , 3 Bände	6	—
Freiligrath , herausg. von P. Zaunert , 2 Bände	4	—	Mörke , herausgeg. von H. Mayne , 3 Bände	6	—
Gellert , herausg. von A. Schullerus , 1 Band	2	—	Nibelungenlied , herausg. von G. Holz , 1 Bd.	2	—
Goethe , herausgegeben von K. Heinemann , kleine Ausgabe in 15 Bänden	30	—	Novalis u. Fouqué , herausg. v. J. Dohmke , 1 Bd.	2	—
— große Ausgabe in 30 Bänden	60	—	Platen , herausgegeben von G. A. Wolf und V. Schweizer , 2 Bände	4	—
Grabbe , herausgegeben von A. Franz und P. Zaunert , 3 Bände	6	—	Reuter , herausgegeben von W. Seelmann , kleine Ausgabe, 5 Bände	10	—
Grillparzer , herausg. von R. Franz , 5 Bände	10	—	— große Ausgabe, 7 Bände	14	—
Gutzkow , herausgeg. von P. Müller , 4 Bände	8	—	Rückert , herausg. von G. Ellinger , 2 Bände	4	—
Hauff , herausg. von M. Mendheim , 4 Bände	8	—	Schiller , herausgegeben von L. Bellermann , kleine Ausgabe in 8 Bänden	16	—
Hebbel , herausg. von Fr. Zinkernagel , 6 Bände	12	—	— große Ausgabe in 14 Bänden	28	—
Heine , herausgeg. von E. Elster , 7 Bände	16	—	Shakespeare , <i>Schlegel-Teekache</i> Übersetzung. Bearbeitet von A. Brandl . 10 Bände	20	—
Herder , herausg. von Th. Matthias , 5 Bände	10	—	Tieck , herausgeg. von G. L. Klee , 3 Bände	6	—
E. T. A. Hoffmann , herausg. von V. Schweizer und P. Zaunert , 4 Bände	8	—	Uhland , herausgeg. von L. Fränkel , 2 Bände	4	—
Immermann , herausg. von H. Mayne , 5 Bände	10	—	Wieland , herausgeg. von G. L. Klee , 4 Bände	8	—
Jean Paul , herausg. von R. Wustmann , 4 Bde.	8	—			

— In Leineneinband; für Halbledereinband sind die Preise um die Hälfte höher. —

