

### 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.

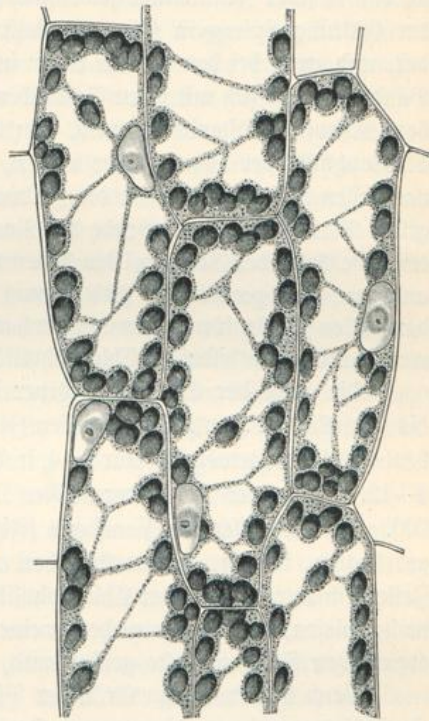
Über die chemische Zusammensetzung des Chlorophylls herrscht noch nicht die wünschenswerte Klarheit, da die mehrfachen Versuche seiner Reindarstellung aus den Blättern mit großen Schwierigkeiten verknüpft sind und es schon durch ein so einfaches Lösungsmittel wie Alkohol verändert wird. Das Alkoholprodukt 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 dajelbst 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.

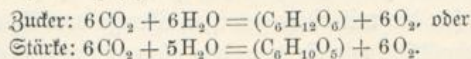
Wenn wir uns im vorstehenden mit den Formverhältnissen, der chemischen Natur und dem Vorkommen des Chlorophylls bekannt gemacht haben, so interessiert uns nun vor allem die Tätigkeit dieser merkwürdigen Substanz sowie die Frage, ob wir einen Einblick in die Arbeit der Stärkesynthese gewinnen können. 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 Vorrat 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

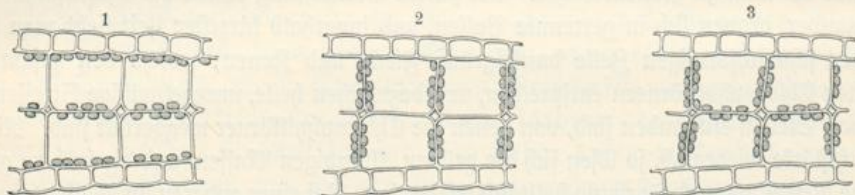


entsprechend einzustellen, sowohl die grünen Chlorophyllkörper innerhalb der Zellkammern als auch die grünen Blätter sowie die Stengel und Zweige, welche die grünen Blätter tragen.

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 rechtwinkelig 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 armförmige 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.

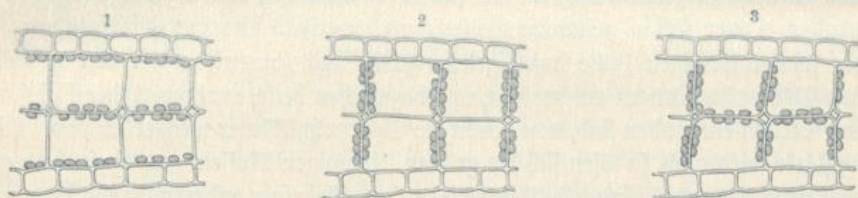
Wenn die chlorophyllhaltigen Organe für scharfen Lichtwechsel empfindlich sind und diesem auszuweichen suchen, so bedürfen sie doch für die Stärkesynthese stets eines möglichst hellen Tageslichts. An schattigen und dunklen Orten siedeln sich daher auch nur kleinere Pflanzen an, Farne, Moose, Lebermoose, 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 armförmige 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.

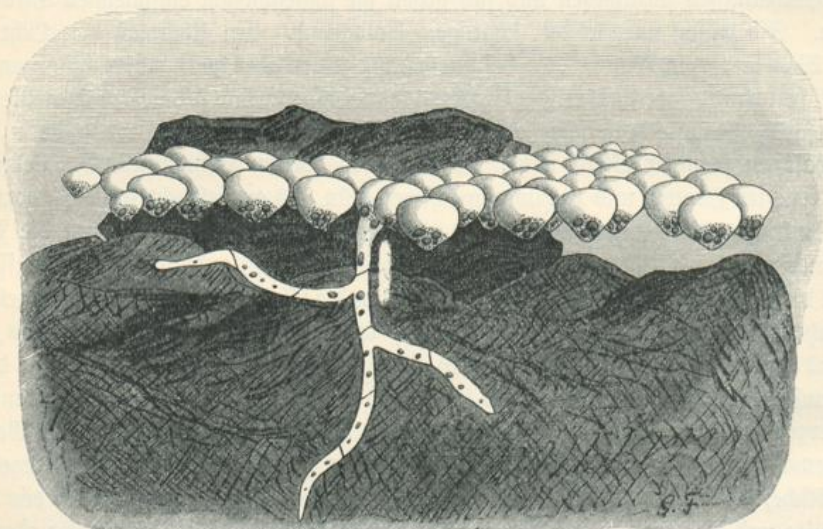


In dem dämmerigen Lichte zeigen die Blattsterne des Waldmeisters eine tief dunkelgrüne Farbe. Nun erdröhnt die Art des Holzhauers im Walde, die Buchen werden gefällt, das schattende Laubdach ist vernichtet und der Waldgrund den grellen Sonnenstrahlen ausgesetzt. Binnen wenig Wochen ist der Waldmeister 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, kugeligen 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 linienförmigen Zellen, deren Chlorophyllkörner den grünen Lichtreflex 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 kugeligen 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.

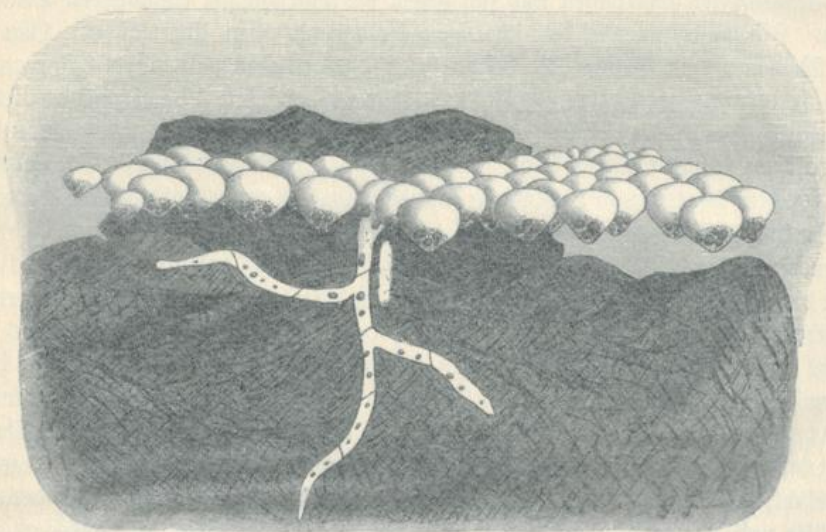
Das Licht, das auf solche Zellen durch die Mündung der Felskluft einfällt, wird durch die linienähnlich wirkende Zelle auf die Chlorophyllkörner konzentriert. Sie werden heller beleuchtet und glänzen daher dem in das Dunkel hineinschauenden Auge goldiggrün entgegen, wie es der Künstler auf der beigebesteten 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.

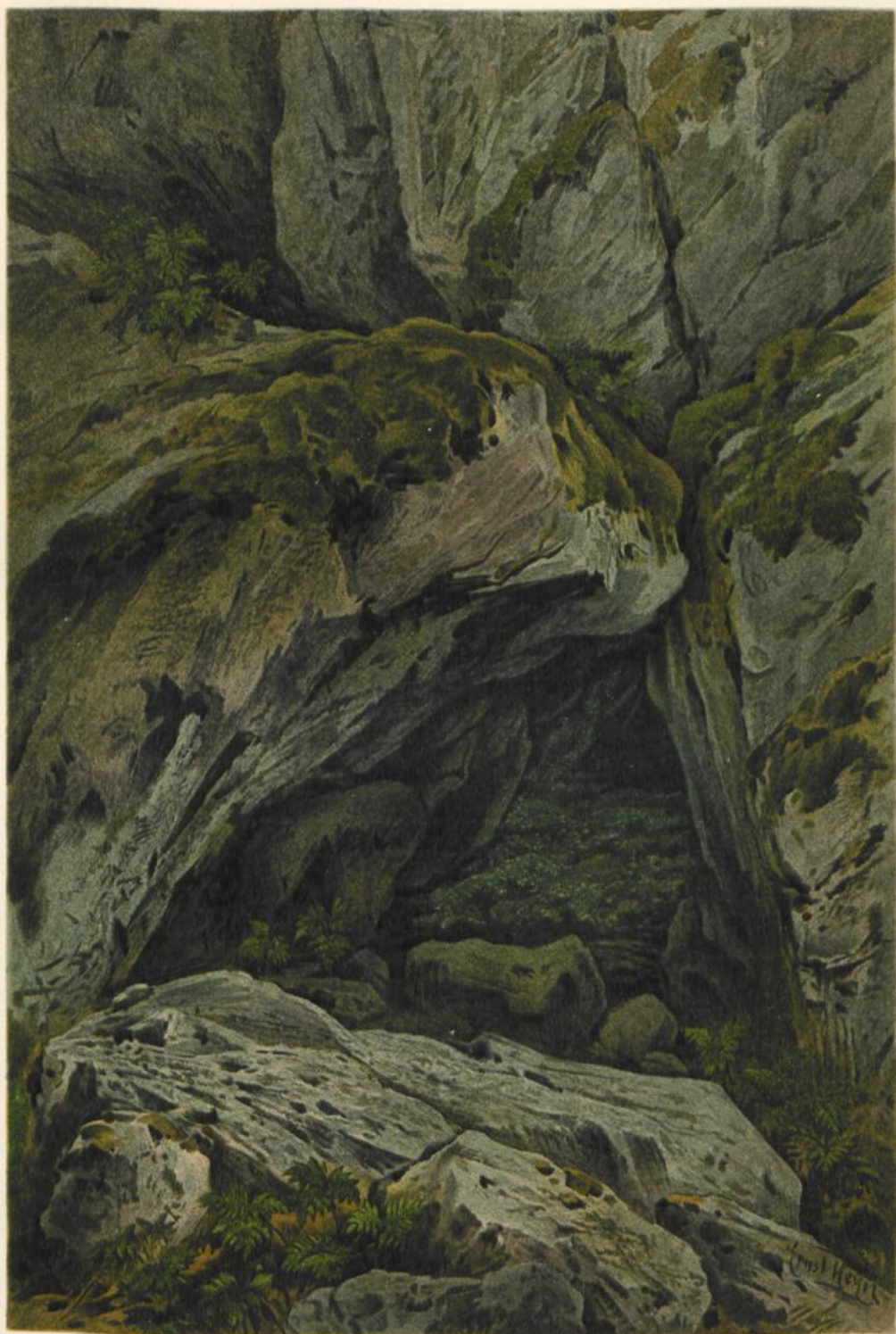
Schistostega an, und die Moospflänzchen wachsen als zweite Generation aus diesem Vorkeime hervor. Wie das geschieht, wird an anderer Stelle geschildert werden; hier interessiert nur, daß das Leuchten nicht von den bläulichgrünen Moospflänzchen, sondern von deren Vorkeim ausgeht. Betrachtet man den Vorkeim 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 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 Felskluft einfallenden Lichtstrahlen. Die traubigen Zellgruppen sind bald länger,



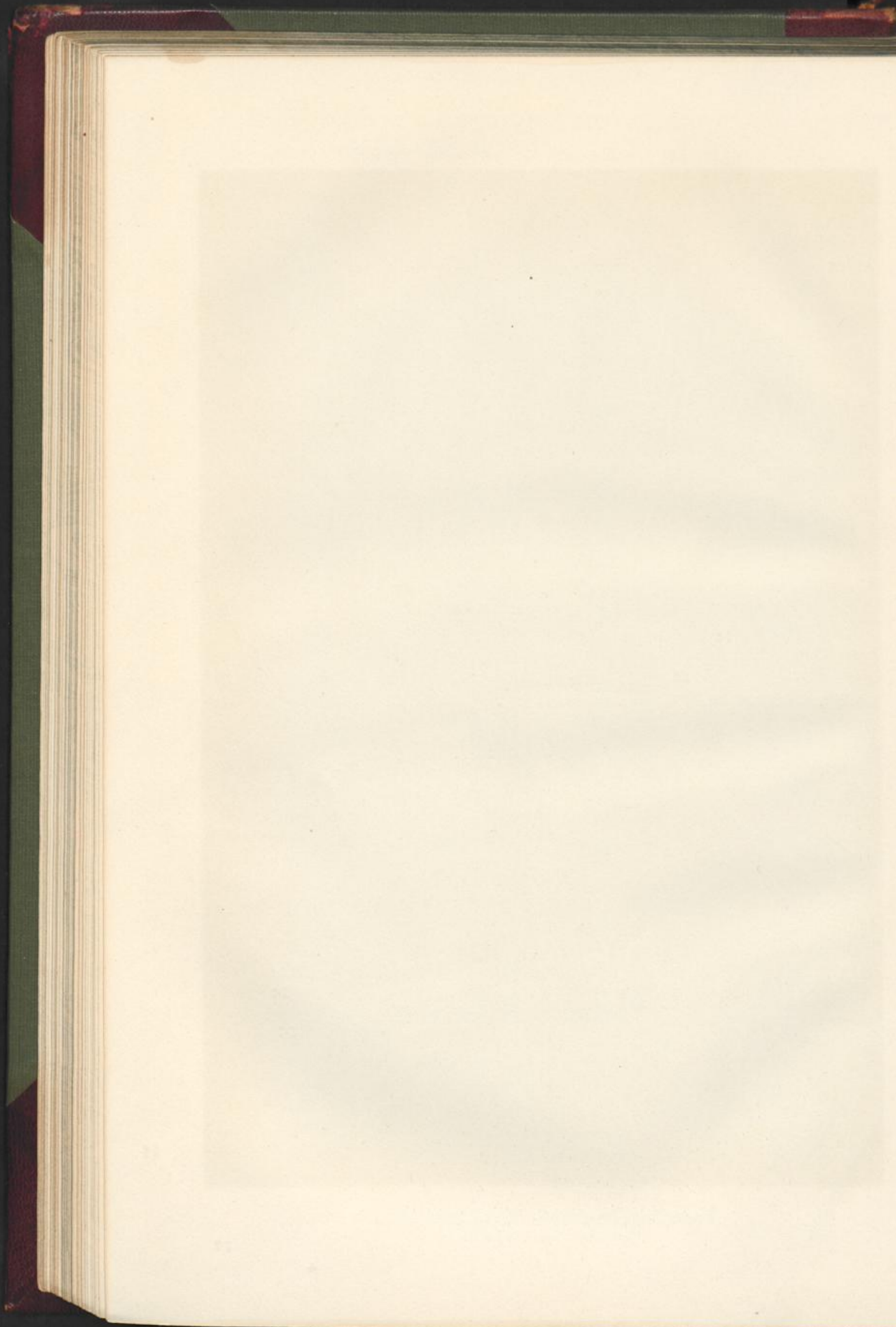
Vorkeim von *Schistostega osmundacea* mit linienförmigen Zellen, deren Chlorophyllkörner den grünen Lichtreflex bedingen. Stark vergrößert.

bald kürzer gestielt, immer aber erscheinen sie reihenweise neben- und hintereinander und sind kulissenartig 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 linienähnlich 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 zusammengelagert, 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 gehäufteten Chlorophyllkörner; andererseits 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 mond hellen 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 Kurosinow, wo das Wasser besonders durchsichtig und arm an Plankton und anderen Schwebstoffen 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.

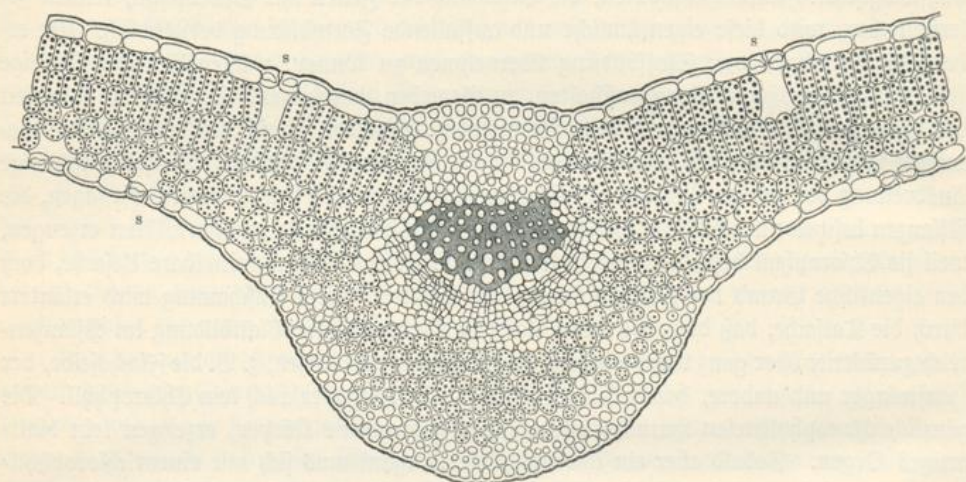
Mehrere der meerbewohnenden Florideen und Lango aus den Gattungen *Chylocladia*, *Chondriopsis coerulea*, *Scinaia* und *Cystosira* zeigen unter Wasser ein eigentümliches Glänzen und Leuchten, welches mit jenem des Leuchtmooses verglichen werden kann, wenn auch der optische Apparat hier ein wesentlich 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,

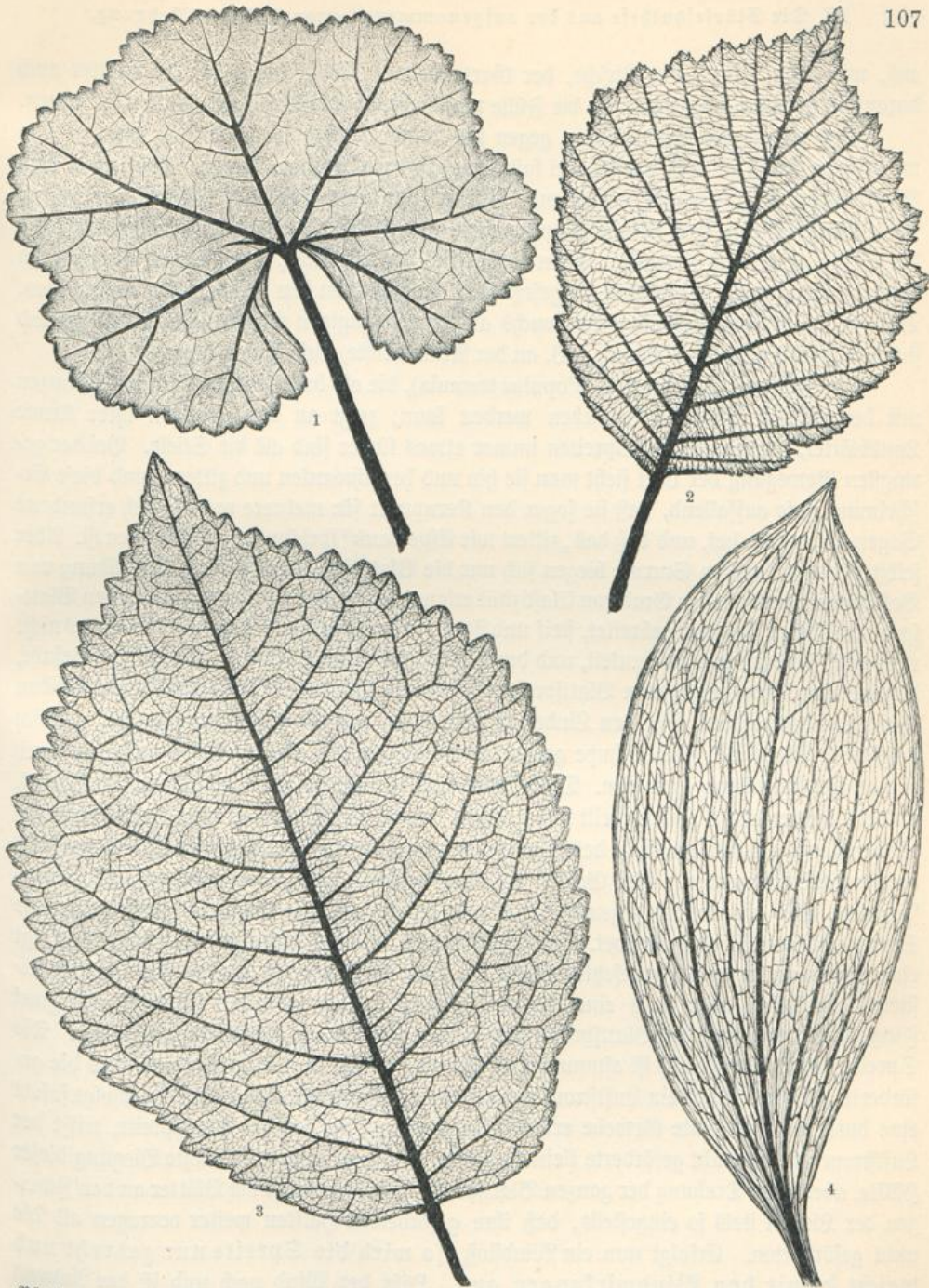
wenn ein Blatt von der Sonne durchleuchtet wird. Diese Adern erscheinen dann farblos im grünen Blattgewebe. Trotz des Namens sind es keine „Nerven“, die den Pflanzen vollständig fehlen, sondern feine Stränge, Gefäßbündel genannt, welche die Zellen des Blattes mit Wasser versorgen sollen und sich deshalb 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 zartere 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.)

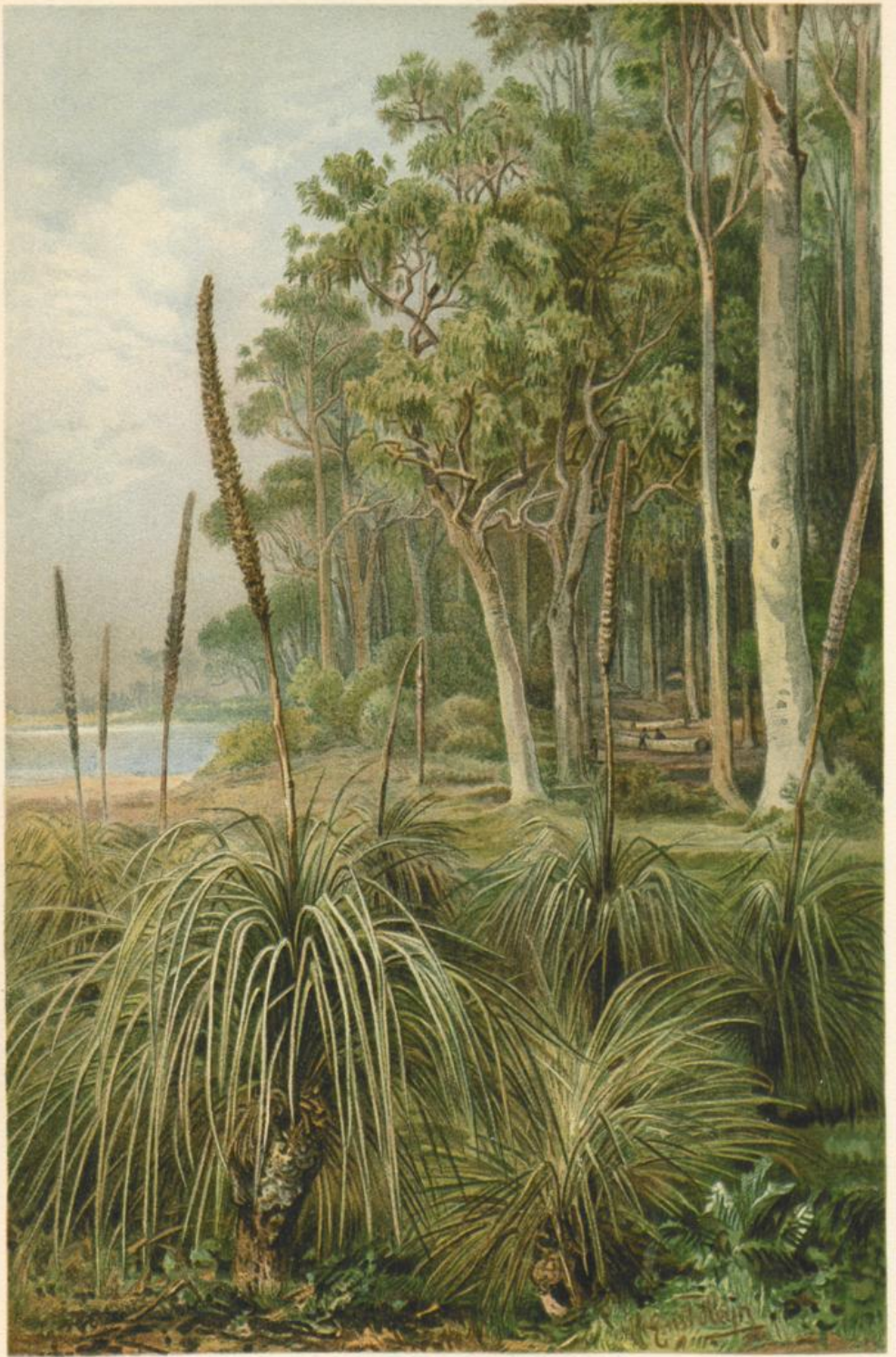
auf, wie beim Tabak, der Kirsche, der Gartenbohne. Es ist lehrreich, die Blätter auch daraufhin genauer anzusehen, um die Fülle verschiedener Konstruktionen kennen zu lernen.

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 Biegungsfestigkeit 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 bartlosen Schwertlilien und einiger Kiefern 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*) 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 Biegungsfestigkeit 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





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

Nach Figuren von Anton v. Kerner.





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 Küstenlaufes 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 eingewurzelteten 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 Stoß 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 zerchlitzte 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 Jo*) 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 ätzende 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 genäschigen 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 Einzeltatsachen 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, nadelartige 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 Kauen 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, Smilaceen 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,

Dykopodiazeen 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 Binsen, 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 Aufsuchen 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 Blattscheiden 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 Mause der Tiere entriickt 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, grünläufigen 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 Persipolis in Persien. (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 Bromeliazeen, 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 Wasserschere (*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,

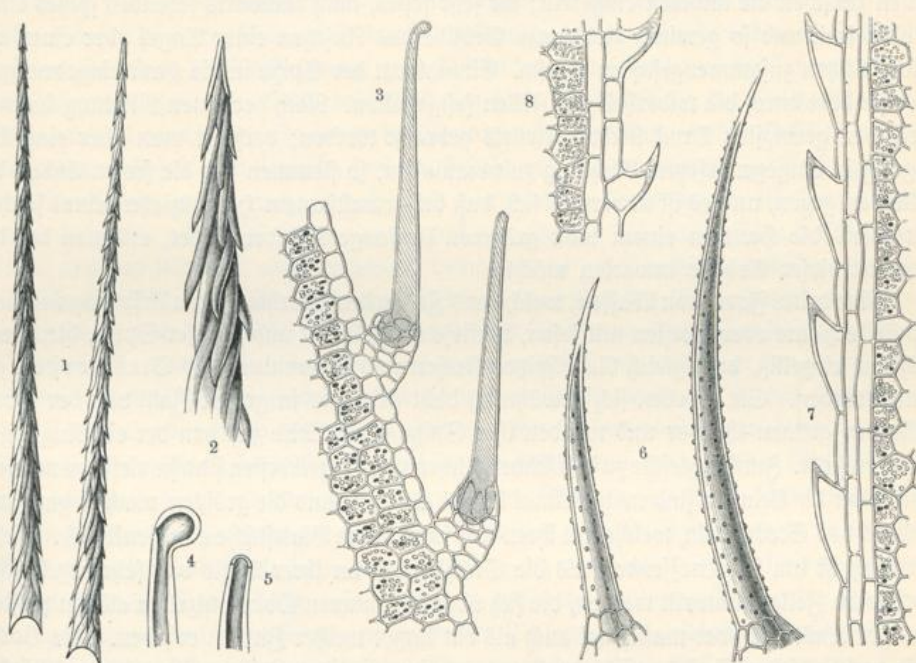
kegelförmigen Zellen gebildet, welche über den Rand des von ihnen bekleideten Blattes vorragen und dort mit einer verkieselten, sehr festen, meistens etwas gekrümmten Spitze endigen (s. Abbildung, S. 125, Fig. 7 u. 8). Die Blätter, deren Rand ganz dicht mit diesen Zellen besetzt sind, machen unter dem 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 oberstes 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 Stachelborsten von dem Natterkopf *Echinum 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 Niedgräjer (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 abgetrochene 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 abgestoßenen Filzhaaren 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 Sumpfsportses, 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 Rassen 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 Salzkrautern *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.

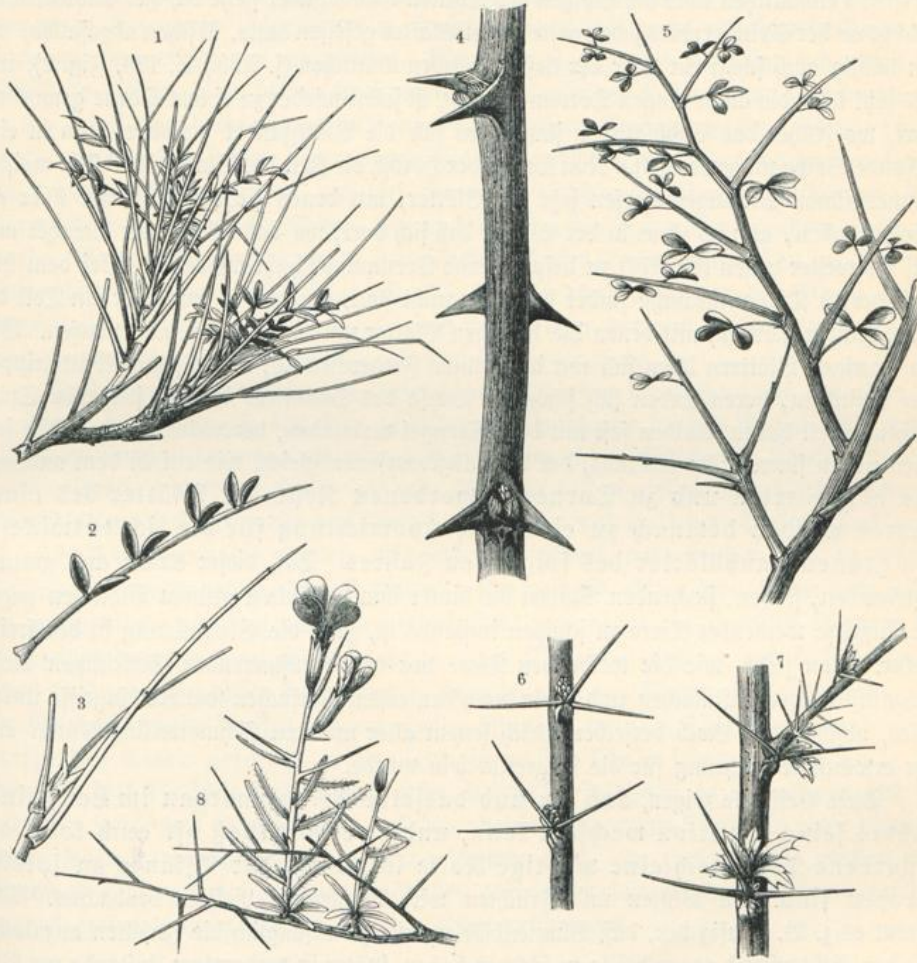
Gerade in diesem Gebiet erhalten aber gewisse Sträucher und junge Bäumchen, welche der oben geschilderten Dornenbildung entbehren, durch die weidenden Tiere selbst eine Gestalt, welche lebhaft an die Phryganiform erinnert. Das geschieht folgendermaßen. Wenn den weidenden Ziegen, Schafen und Kindern junge 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 zerbißenen 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 bedorneten 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 hervorschimmern. 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  $120^\circ$  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 Färberginster (*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

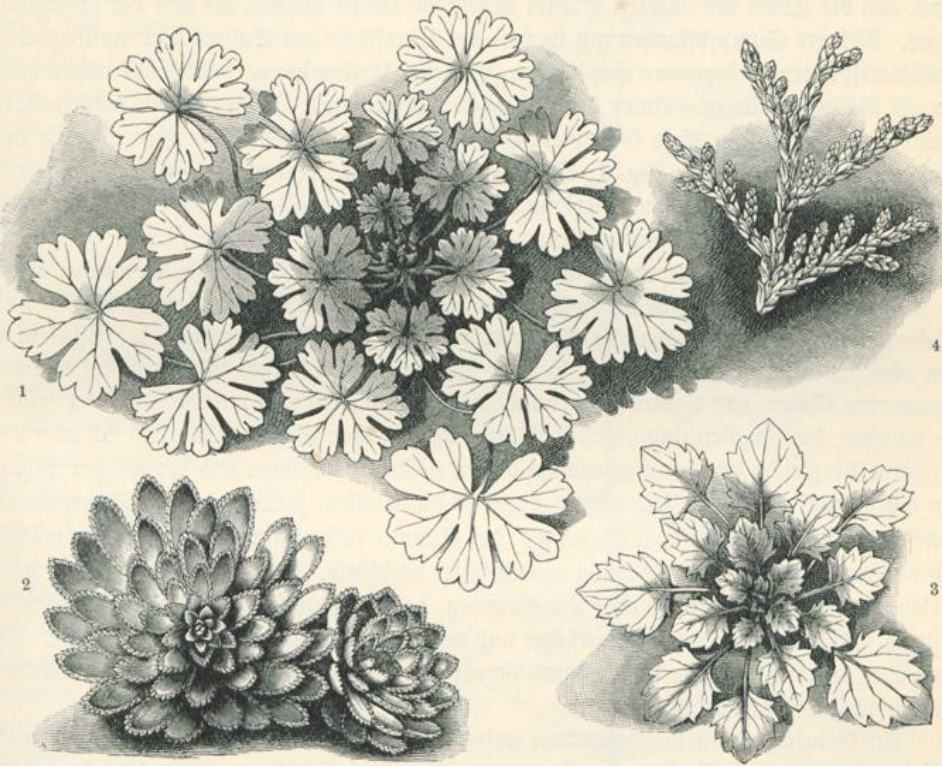


Bildung eines Blättermosaiks durch Verlängerung und durch Verkürzung der Blattstiele: 1 grüner Amarant (*Amarantus Blitum*), 2 *Thlaspi alpinum*. (Zu S. 138, 140 und 146.)

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

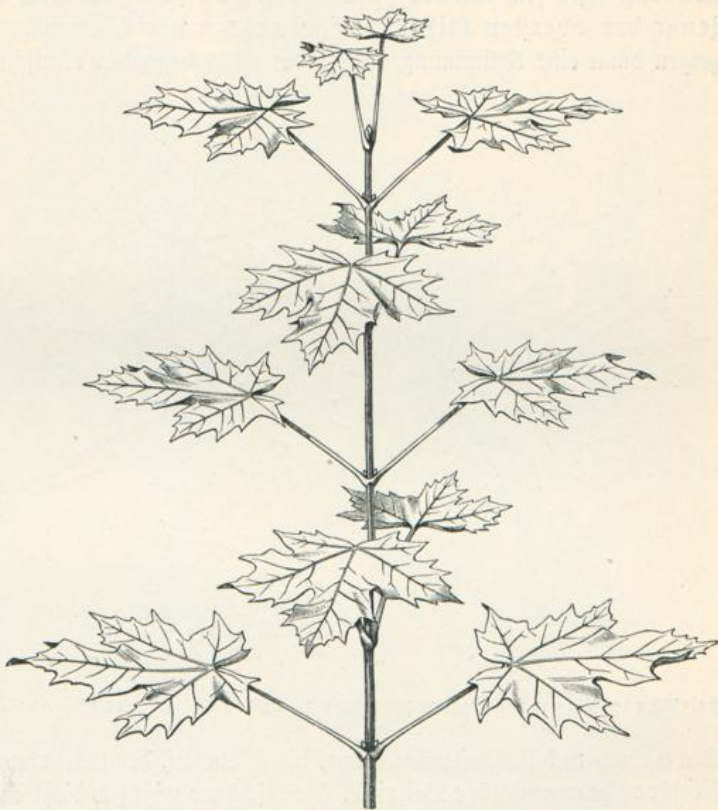
auf S. 139 in Fig. 1 abgebildeten *Geranium Pyrenaicum* und an der Blattrosette der in Fig. 3 dargestellten niedlichen, auf den Geröllhalden subalpiner Gegenden heimischen kleinen Glockenblume (*Campanula pusilla*). Von obenher gesehen, stellt jede dieser Rosetten ein zierliches Blättermosaik dar.

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 Nadeln 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 beschuppenden 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.

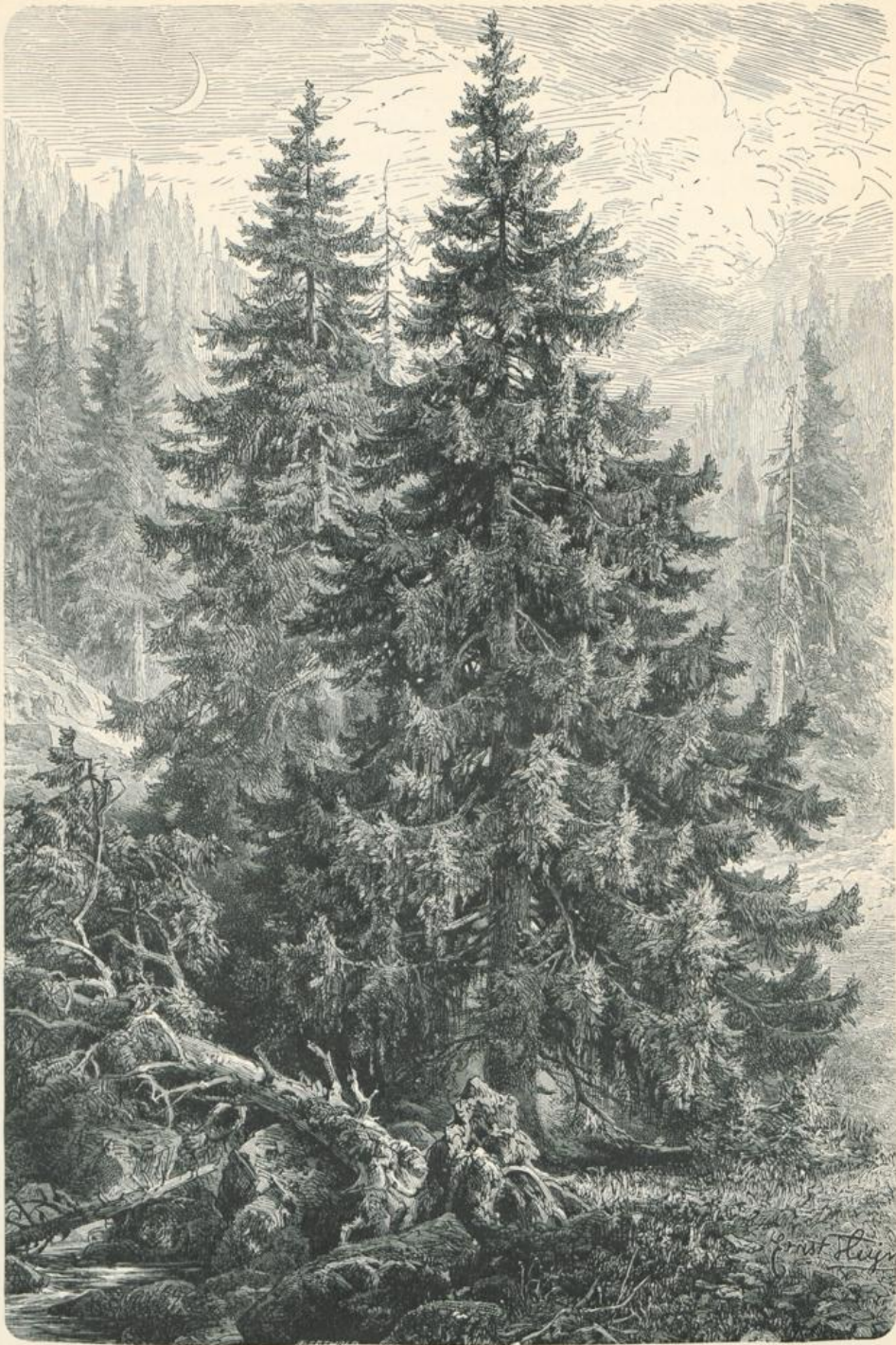
Das weitere Verhalten der über den Schattenkreis vorgeschobenen belaubten Zweige ist nun bei verschiedenen Bäumen und Sträuchern sehr ungleich. Bei einem Teile derselben suchen die über den Schattenkreis hinausgewachsenen Zweige der älteren unteren Äste sich wieder zu erheben und schlagen eine Richtung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

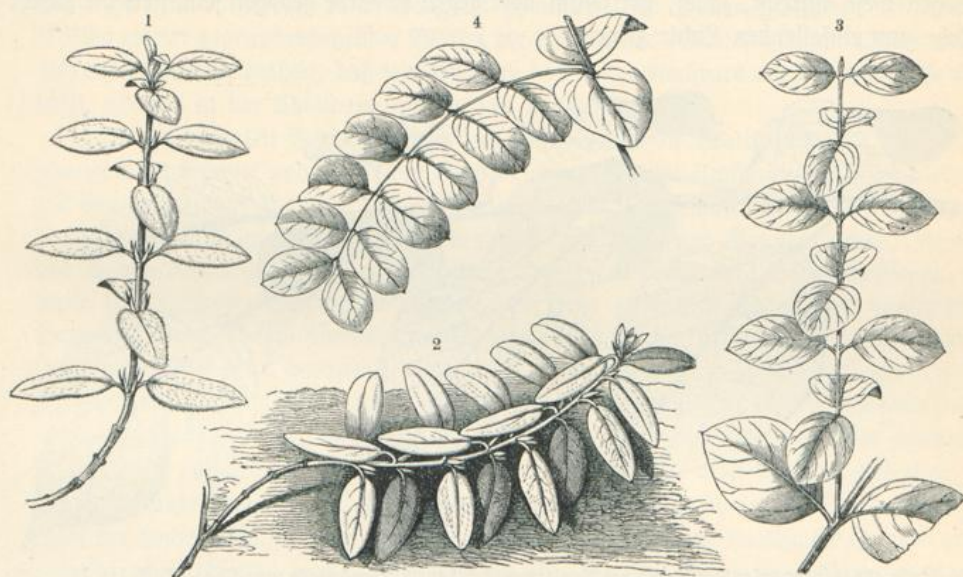
An den vorgeschobenen Seitenzweigen jener Bäume und Sträucher, welche der ersten Gruppe angehören, kann dieselbe Verteilung und Richtung der Blattspalten eingehalten



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  $90^\circ$  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.

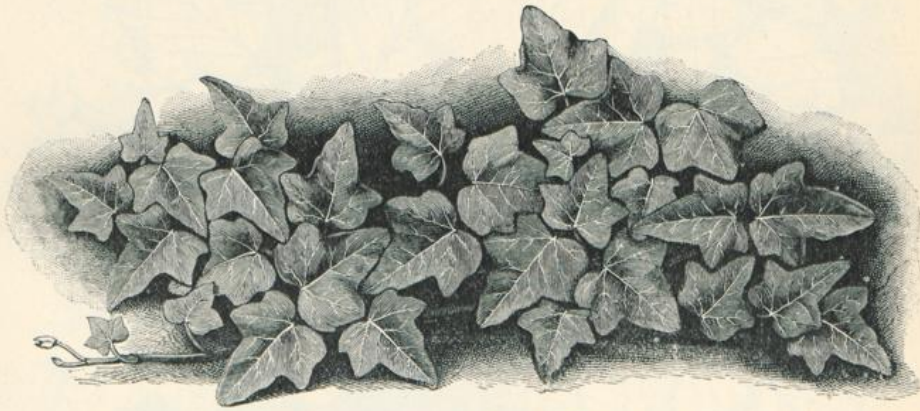
Die geschilderten Veränderungen der Lage, welche die Blattspreiten an den unteren Zweigen der Bäume und Sträucher erfahren, werden unter Umständen auch an niederen, mit ihren belaubten Stengeln dem Boden aufliegenden Gewächsen beobachtet. Besonders häufig kommt dies an jenen Arten der Gattung Ehrenpreis 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 Zipfeln 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 Zipfel 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 Tat 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 brasilianischen *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 weit hin 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 Efeugruppe ist, sieht man, wie sich die fünfzähl-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



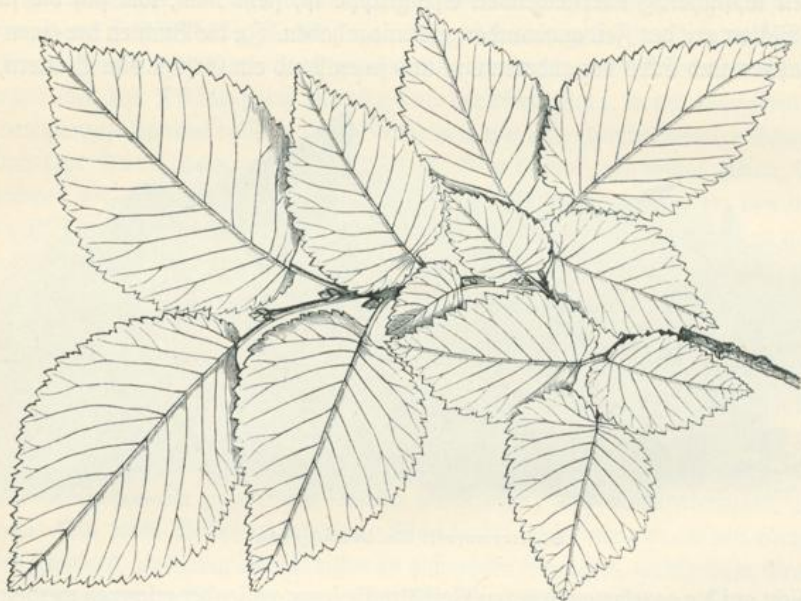
Blättermosaik: Efeu im Waldgrunde.

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 fünfzähl-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 fünfzähl-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

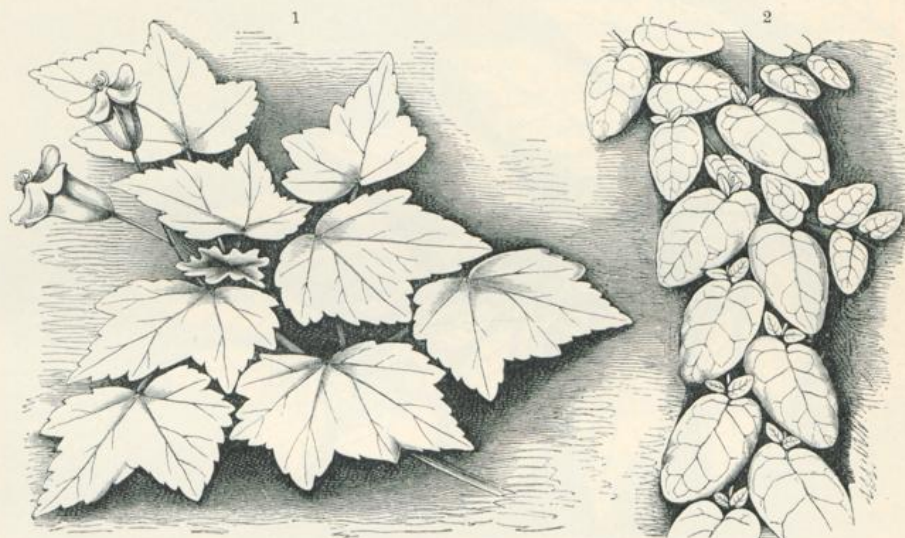


Mosaik aus ungleich großen asymmetrischen Blättern: Beflaubter wagrecht absehender Zweig einer Ulme (*Ulmus*), von oben gesehen.

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, Urticaceen, Artocharpeen, Solanaceen, Gesneraceen, Akantthaceen und Melastomaceen, die eine namhafte

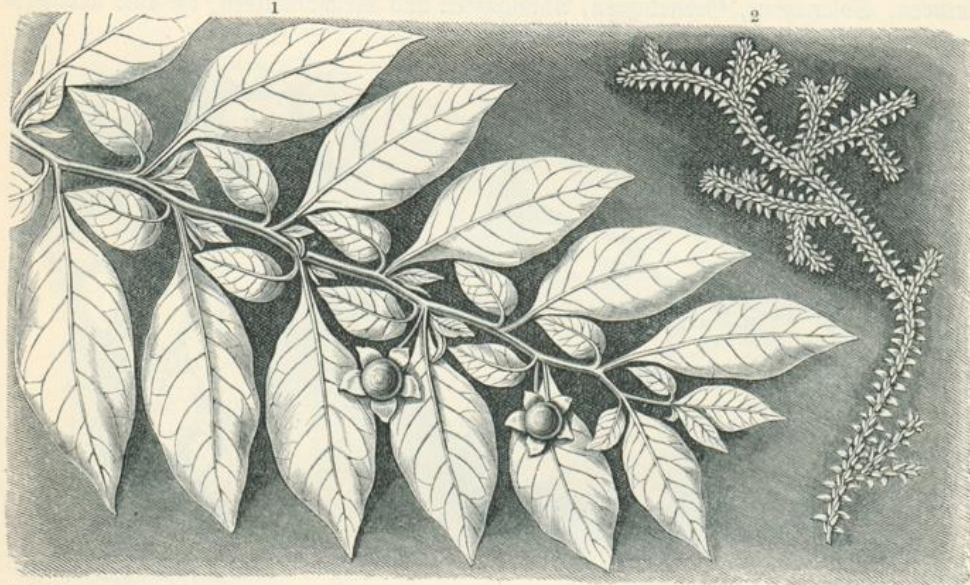


Blättermosaik aus asymmetrischen Blättern: 1 *Begonia Drogei* vor einer senkrechten Wand; 2 *Ficus scandens* an einer senkrechten Wand.

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 *Mantthazeen* 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 *Mantthaze*, *Gesneriaze* 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 *Gesneriazeen*, 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 *Alkazie* (*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 aufkeimenden 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 aufgekeimten 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.