

## II. Die Aufnahme der Nahrung durch die Pflanzen.

### 1. Die Natur und Aufnahme der Pflanzennahrung.

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

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

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

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

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

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

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

## 2. Die Ernährung der Chlorophyllpflanzen durch Aufnahme anorganischer Stoffe.

### Die Kohlensäure.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### Die Nährsalze.

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

N

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

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

Selbstverständlich können die Nährsalze nur im gelösten Zustande durch die Zellhaut

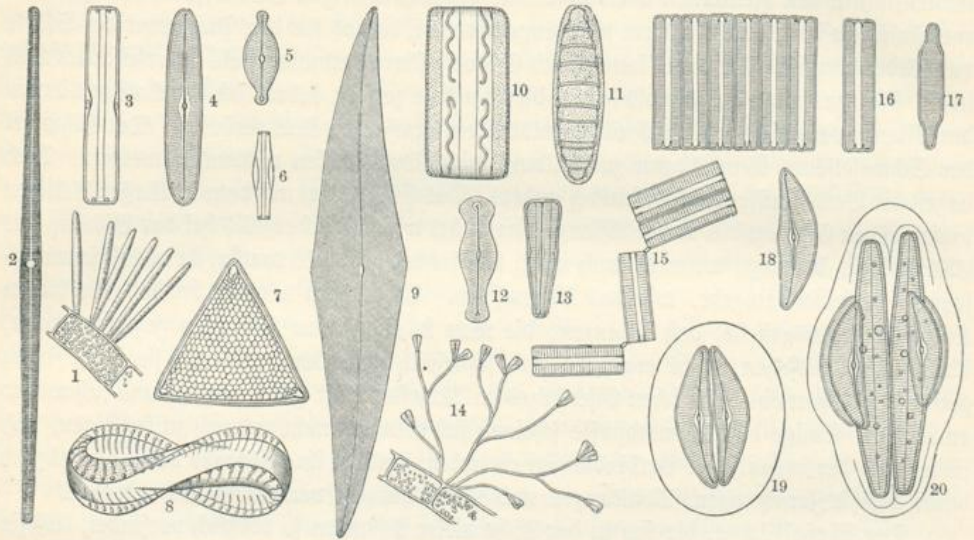
hindurch in das Innere der Pflanze gelangen. Dementsprechend sind es vorzüglich die im Wasser löslichen schwefelsauren, phosphorsauren, salpetersauren Salze des Kalziums, Magnesiums, Kaliums und Eisens, die als Nährsalze angesprochen werden können. Dabei scheint es ziemlich belanglos, in welcher Verbindung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

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

*Si-Oxidation  
C, H, O, S, N*



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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### Aufnahme der Nährsalze durch Wasserpflanzen.

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

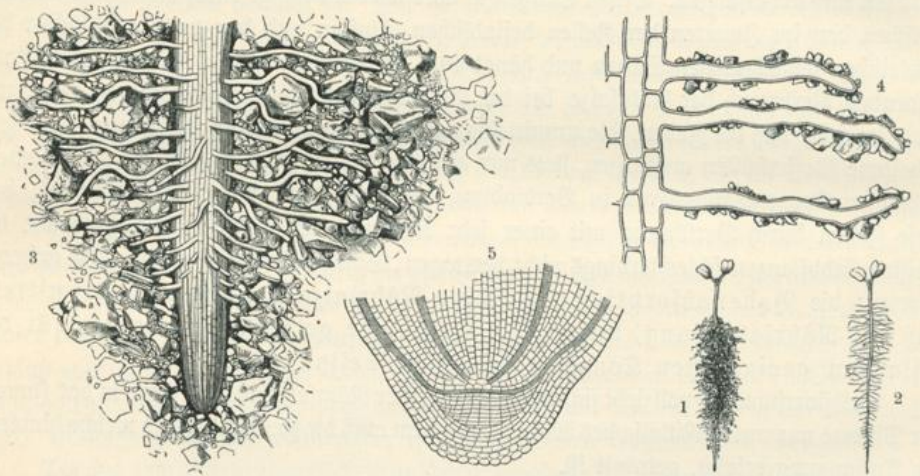
daß die Salze einen ungemein feinen Überzug der winzigen Erdteilchen bilden und von diesen mit großer Kraft festgehalten werden. Soll nun eine in dem Erdreich wurzelnde Pflanze diese Salze als Nahrung aufnehmen, so muß sie die Kraft, mit der die Salzmoleküle im Boden festgehalten werden, überwinden.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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### Das Wasser und seine Zuleitung zu den Wurzeln.

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

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

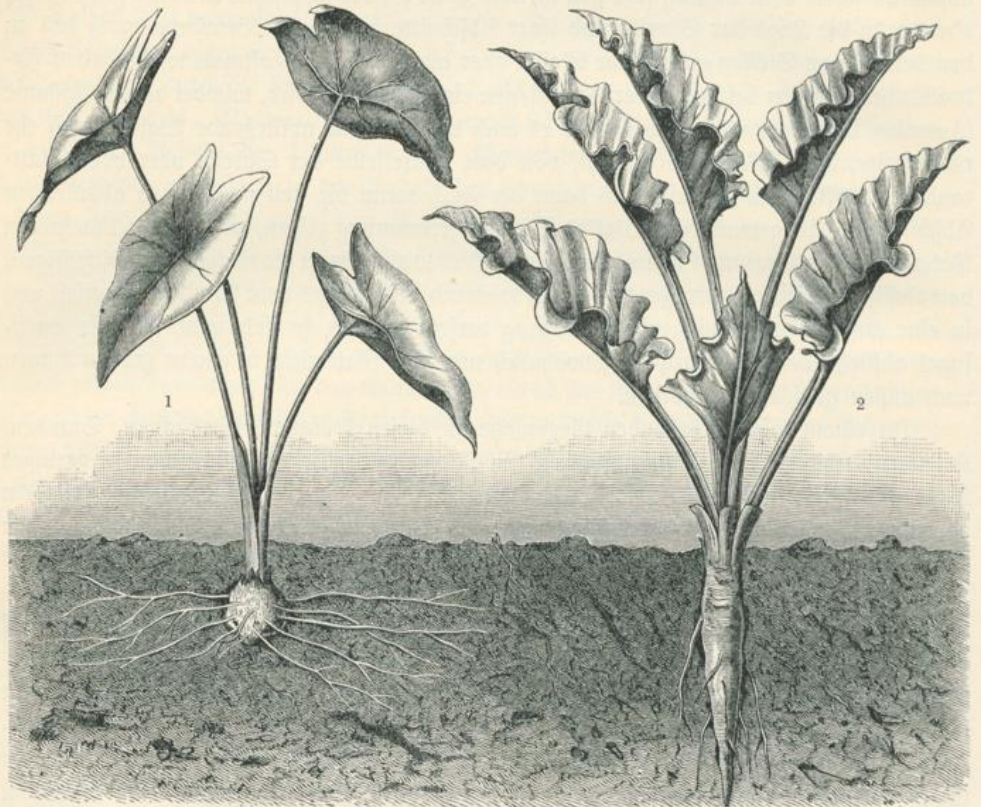
Kiefer. Die Seitenäste sind nahe dem Hauptstamm horizontal, die Zweige bogenförmig nach aufwärts gekrümmt, und die Nadeln in der Nähe der Spitze jedes Zweiges stehen von der Achse schräg nach aufwärts, während die älteren Nadeln, welche etwas von der Spitze entfernt an der unteren Seite dem fast wagerechten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

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

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

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

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



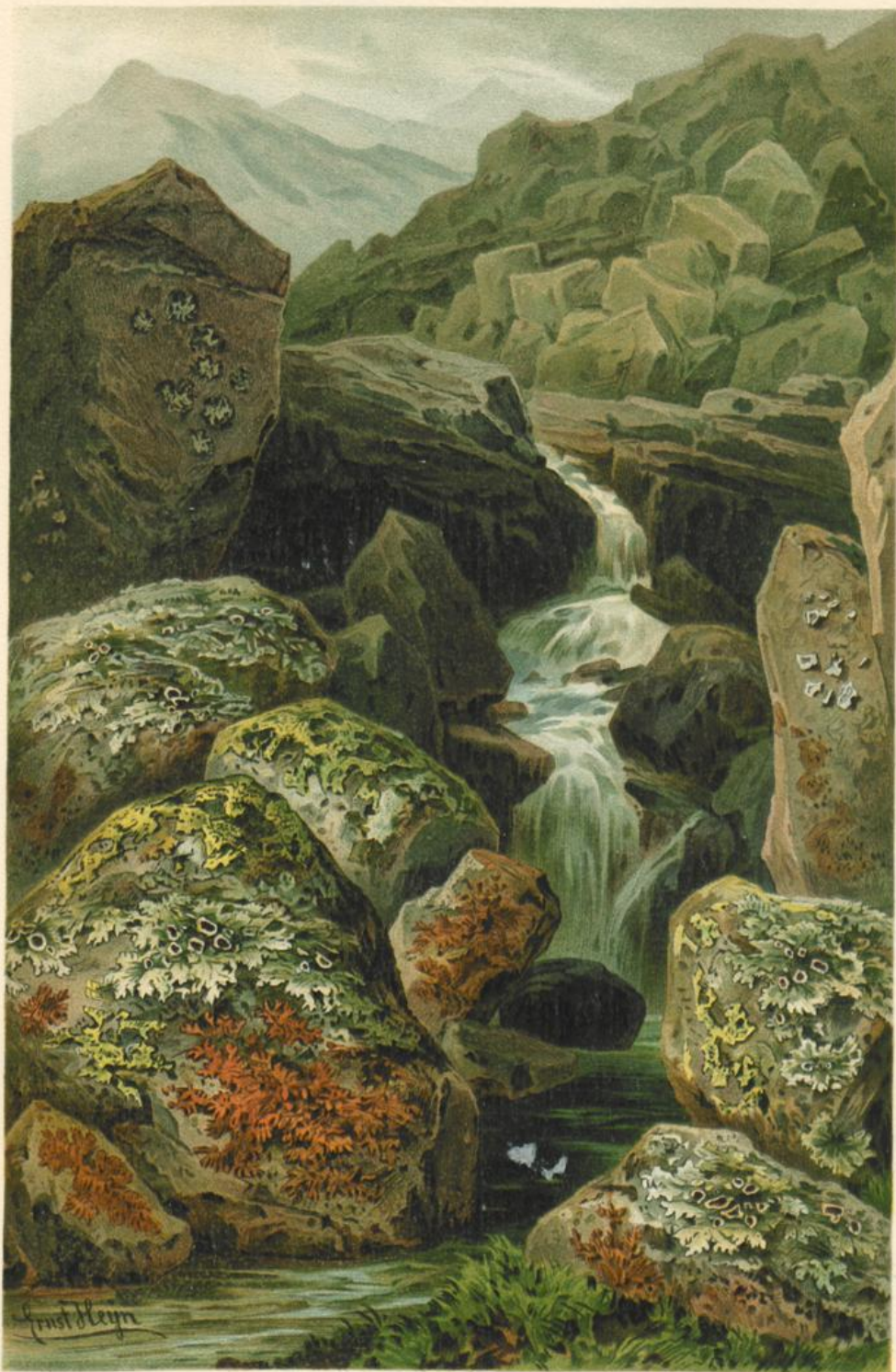
Zentrifugale und zentripetale Ableitung des Wassers: 1 an einem Caladium, 2 an einem Rhabarber. (Zu S. 78—80.)

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

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







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

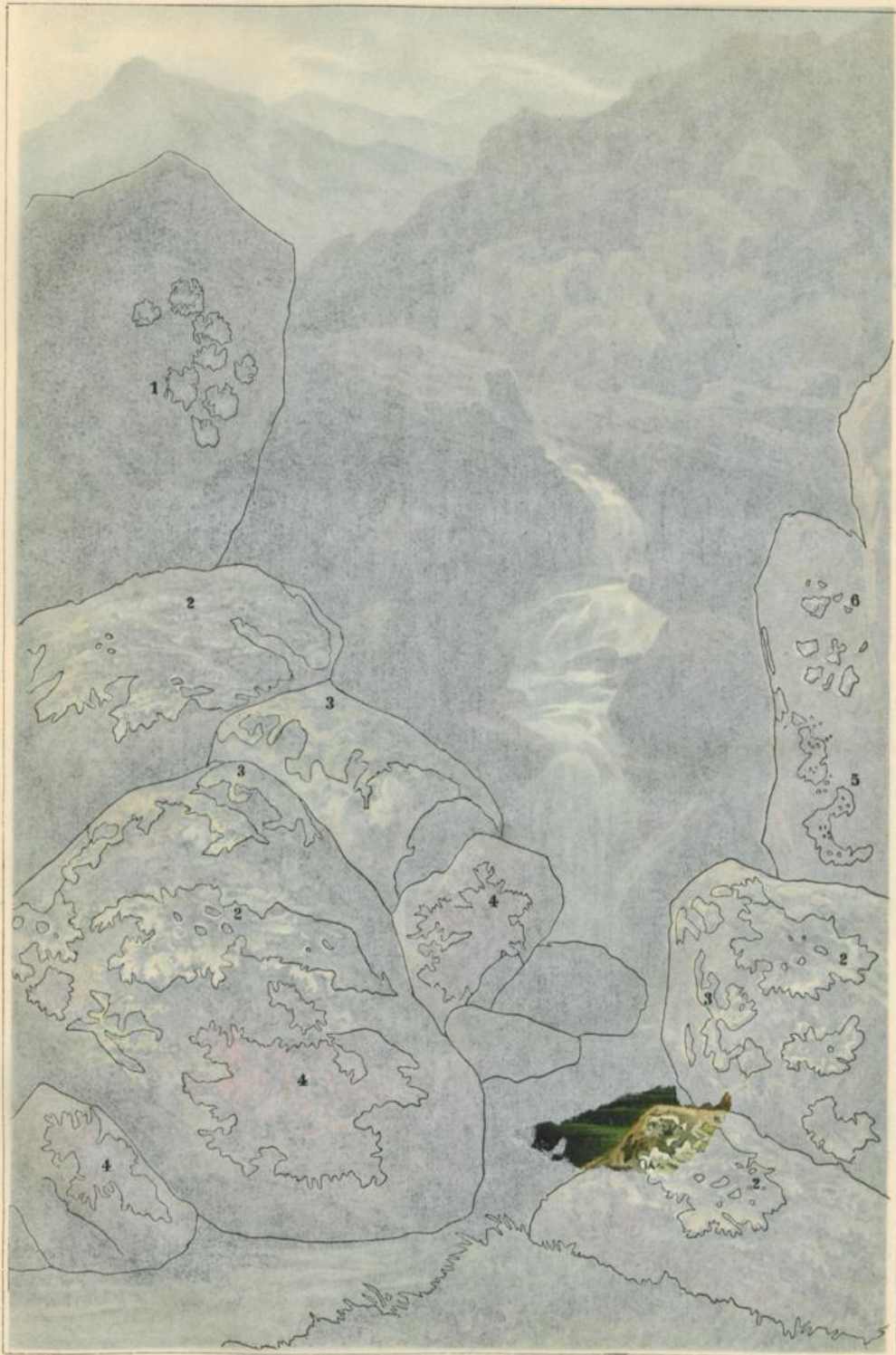
Wasser von obenher durch eine solche Rinne herab, so trifft es gerade die Stelle des tieferen Blattes, wo sich auch das Regenwasser sammelt, das von der Fläche dieses Blattes auf-  
gefangen wurde, und so wird der Wasserstrom desto ausgiebiger, je mehr er sich dem Boden  
nähert. Diese Rinnen, die man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

Wenn die den Regen zum Stengel hinleitenden Laubblätter nicht paarweise gegen-  
überstehen, sondern entlang einer Schraubenslinie am Stengel angeordnet sind, so sicker  
auch das Wasser längs dieser Schraubenslinie vom Blatt zu Blatt in die Tiefe. Manchmal  
finden sich auch da wieder Rinnen am Stengel, durch welche das Regenwasser abwärts  
fließt, wie z. B. an der gewöhnlichen Heidebeere (*Vaccinium Myrtillus*), deren aufrecht  
stehende Blätter die niedersinkenden Tropfen in den Vertiefungen zwischen den Blättern  
halten, bis sie in die Rinne des Stengels hinabsickern können. Auch die Stängelrinne  
des Buchens ist zur Erde gelenkt. Bei *Veratrum Album* hat dagegen  
jedes der fontanen Stengelblätter an der oberen Seite eine Menge kleiner Längs-  
rinne, welche alle an der Blattbasis zusammenfließen. Das dort sich sammelnde Wasser  
fließt endlich über und sicker über den meist runden, hohlen Stengel zur Erde hinab.

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

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

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



Flechten auf den Blöcken einer Moräne in den Zentralalpen.

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

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

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

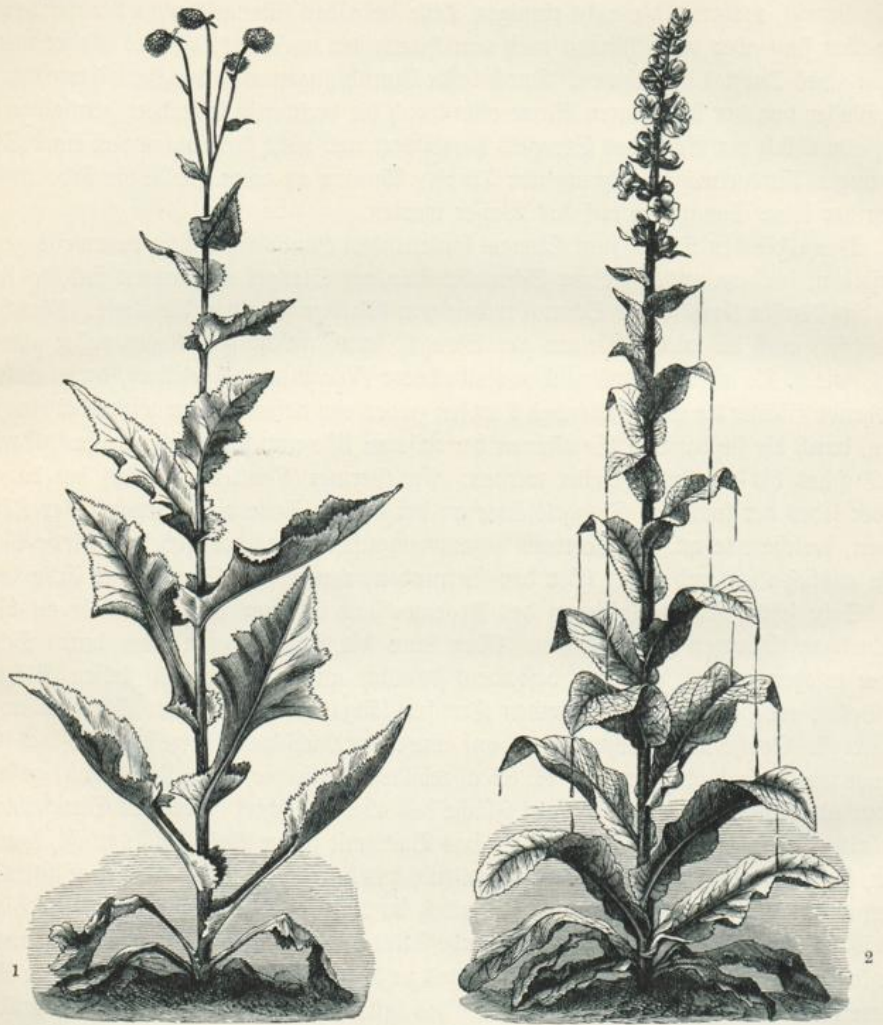
Wasser von obenher durch eine solche Rinne herab, so trifft es gerade die Stelle des tieferen Blattes, wo sich auch das Regenwasser sammelt, das von der Fläche dieses Blattes aufgefangen wurde, und so wird der Wasserstrom desto ausgiebiger, je mehr er sich dem Boden nähert. Diese Rinnen, die man bei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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

### 3. Die bodenändernde und bodenbildende Tätigkeit der Pflanzen.

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

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

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

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

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

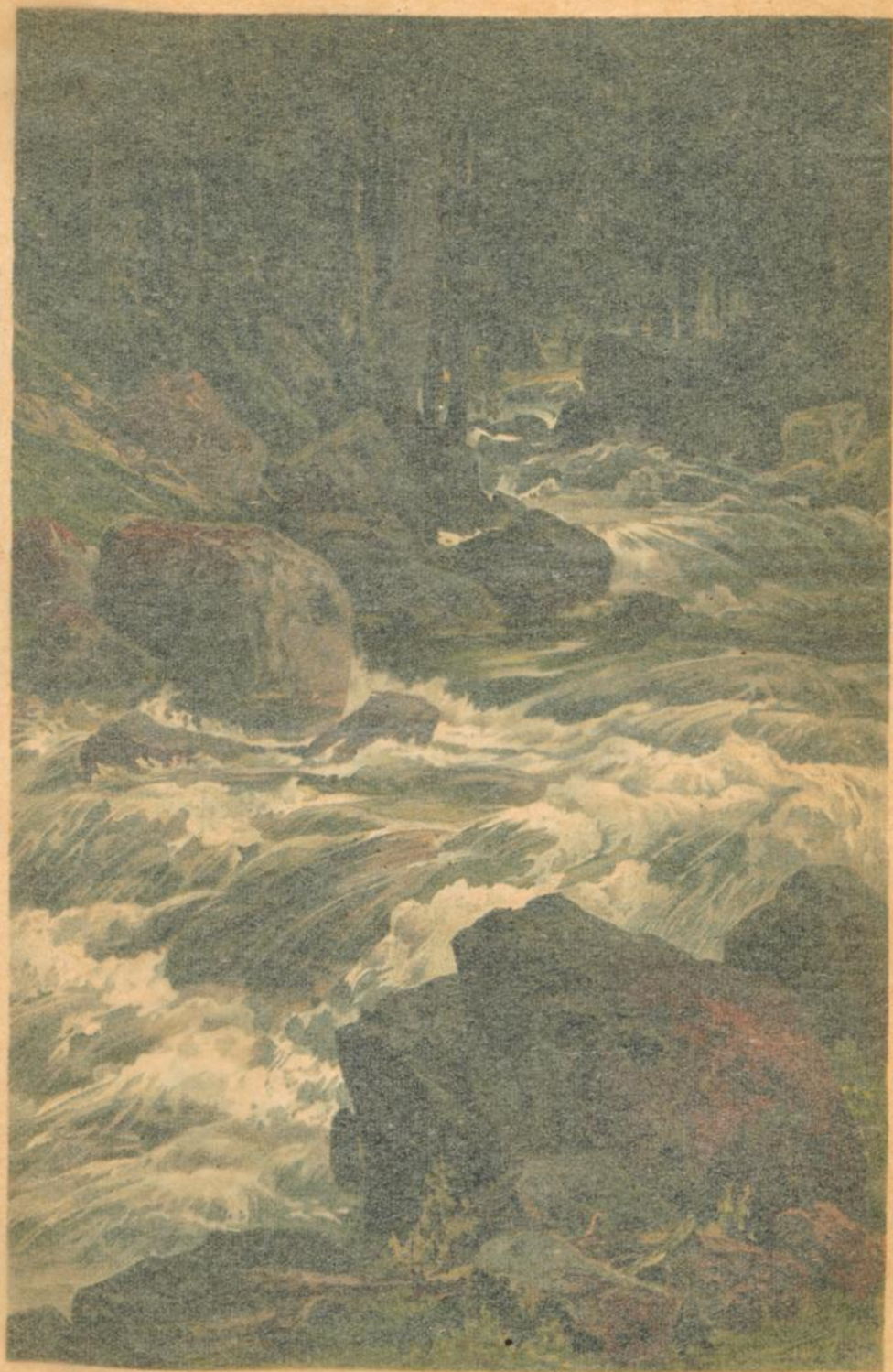


wäre. Das sind Algenmassen, meist zu den *Oszillarien* gehörig, die sich dort angesiedelt haben, wo das Regenwasser herabrieselt. Sie äßen das Gestein an und zerkrümeln langsam die Oberfläche. Auch die mächtigen Blöcke der Gebirgsbäche, die keiner Pflanze festen Halt gewähren, werden von Algen überzogen.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

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

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

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



„Veilchenstein“ im firolischen Ögtale.

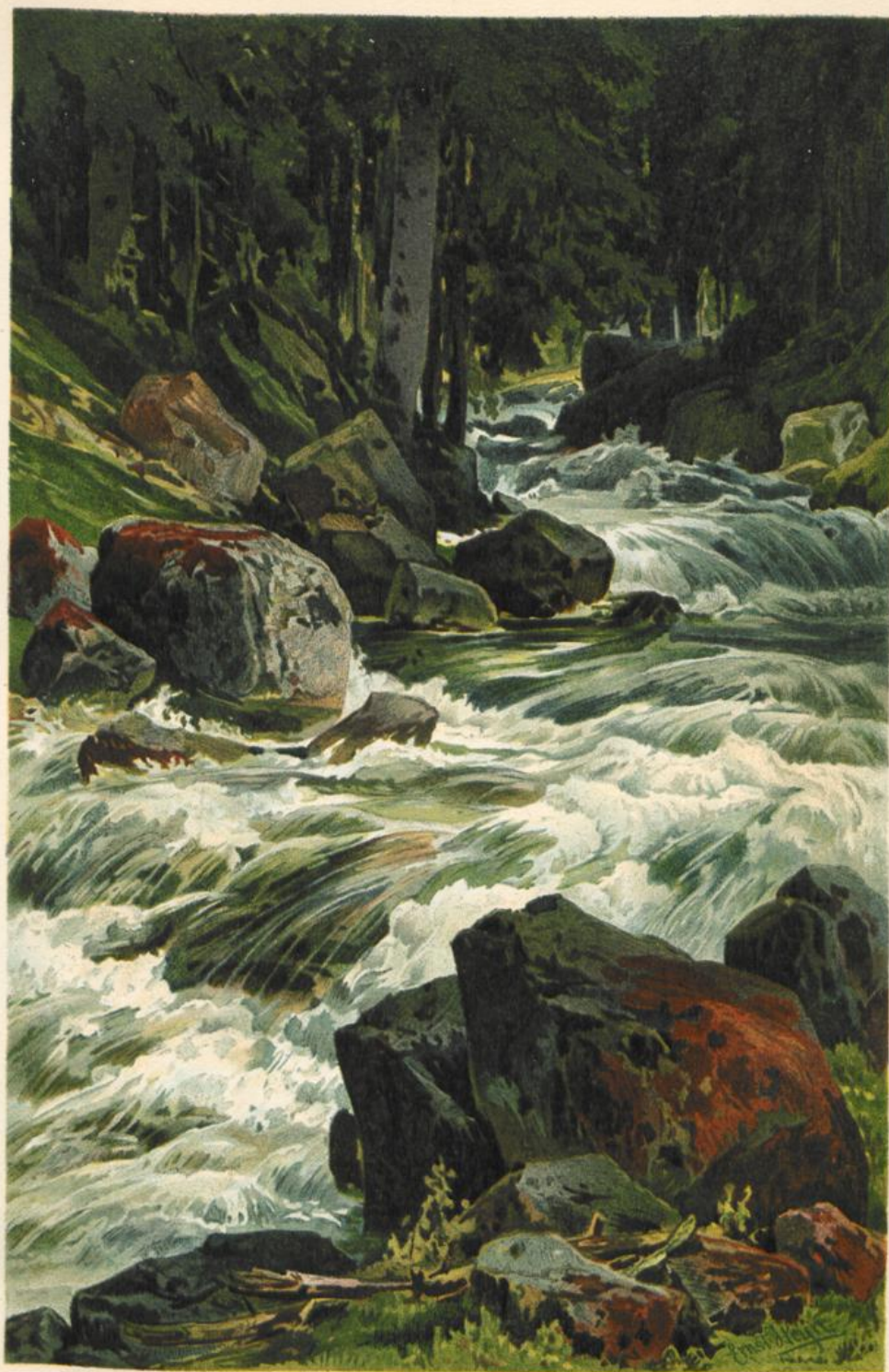
Nach Aquarell von E. Heyn.

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

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

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

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



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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

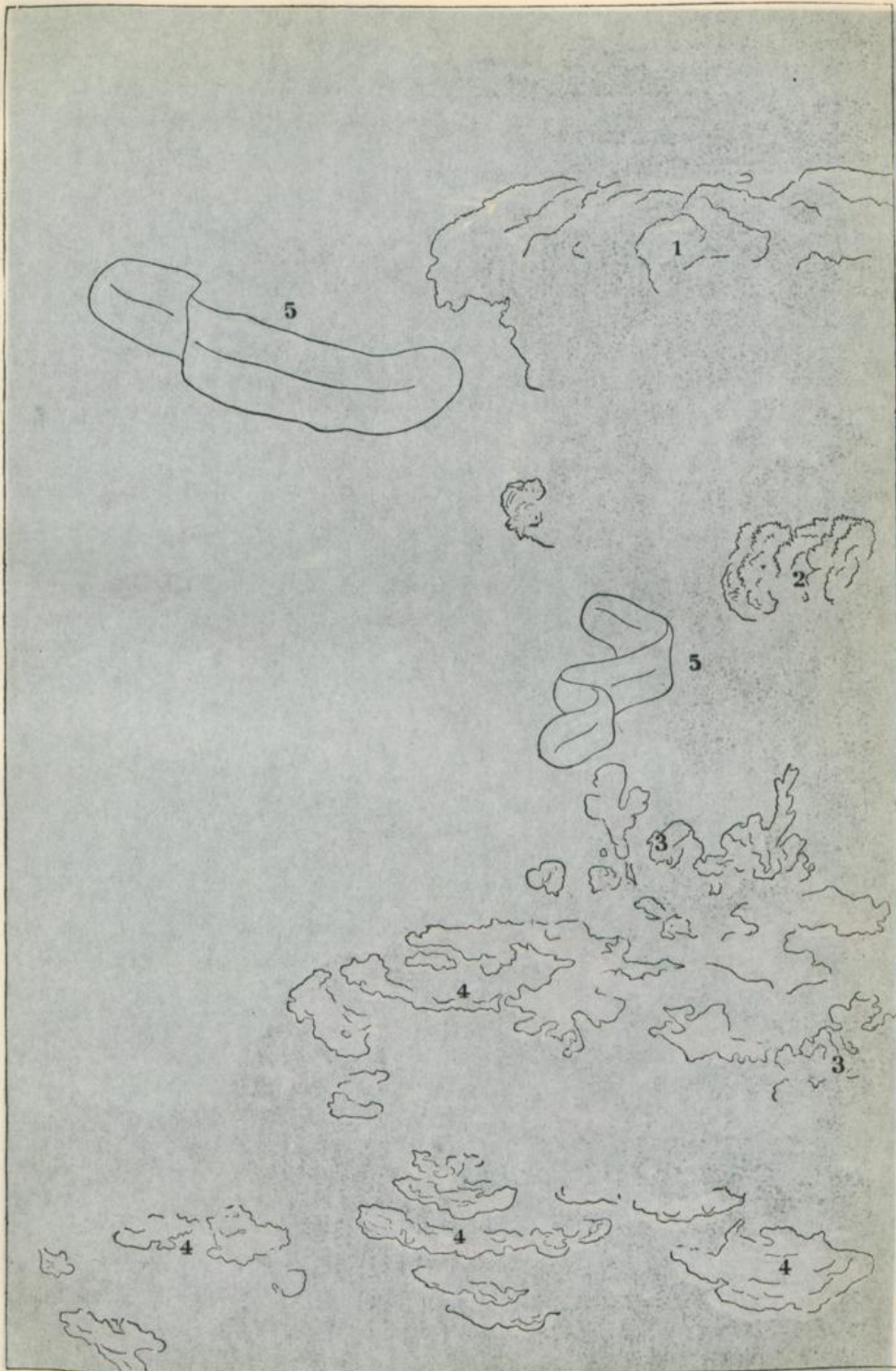
Es unterliegt demnach keinem Zweifel, daß auf diese Weise mächtige Schichten von Süßwasserkalk entstehen können. Daß auch in verfloßenen Zeiten die Bildung von Süßwasserkalk in der eben geschilderten Weise erfolgte, geht aus dem Umstande hervor, daß in dem aus der Diluvialperiode herkommenden Kalk nicht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

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

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

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

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



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

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

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

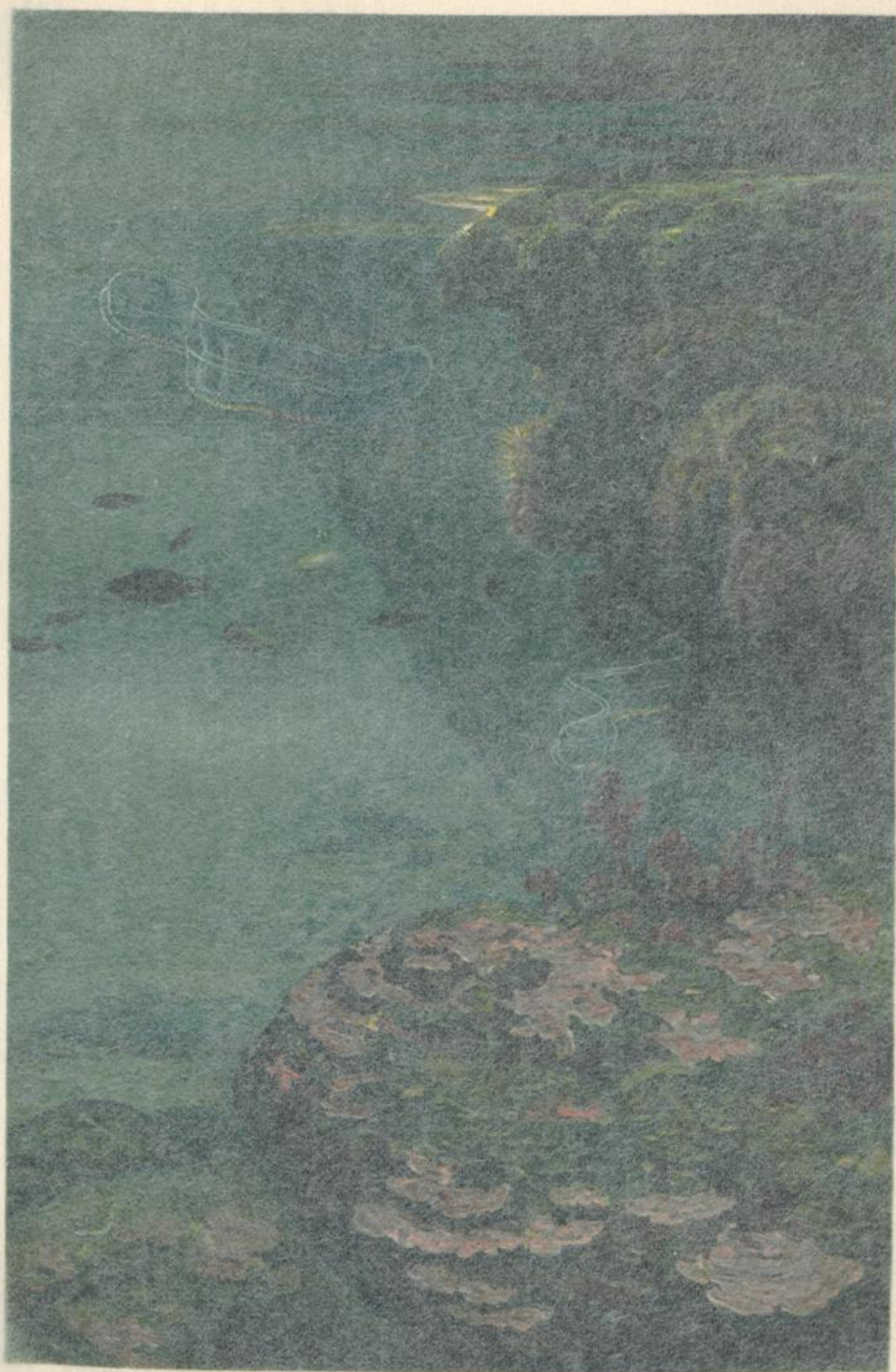
Im Meere sind Kalkablätze, die nach Ablösen, Versinken und Aufschichten der auf der Oberhaut lebender Wasserpflanzen gebildeten Niederschläge entstehen seltener. Dort spielen dagegen die früher besprochenen Phytozoen eine hervorragende Rolle und bilden, wie wir oben gesehen haben, auch im Vereine mit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

Und wenn wir überlegen, daß auch mächtigen Gebirgen solche marine Kalkablagerungen durch die eiszeitlichen Gletscher abgetragen wurden, zu denen, die uns in Erstaunen setzen, wie die Alpen, Pyrenäen und Kaspische Gebirge, wie verschwindet dann die Spannung, die wir oben besprochen haben, gegenüber den Zeiten, durch welche die Organismen die Kalkablätze bilden konnten.

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



1. *Lithophyllum crinale*. — 2. *Corallina officinalis*. — 3. *Favosites*. — 4. *Lithophyllum decussatum*. — 5. *Cerata Fucis* (Qualls).



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

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

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

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

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

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



1. Lithophyllum decussatum. — 2. Corallina officinalis. — 3. Lithothamnium rubrum. — 4. Lithophyllum decussatum. — 5. Corallina officinalis.



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

