

BIBLIOTEKA
MUZEUM ŚLĄSKIEGO

5809

II

L T E R M I G U L A

Pflanzenbiologie

Wahm 1930

W. MIGULA / PFLANZENBIOLOGIE



PFLANZENBIOLOGIE

SCHILDERUNGEN AUS DEM LEBEN DER PFLANZEN

VON

DR. W. MIGULA

PROFESSOR AN DER FORSTAKADEMIE EISENACH

ZWEITE, VERBESSERTE AUFLAGE



VERLAG VON QUELLE & MEYER IN LEIPZIG



5809 II

ALLE RECHTE VORBEHALTEN

*

BUCHDRUCKEREI OSWALD SCHMIDT G.M.B.H.
LEIPZIG

Vorwort zur ersten Auflage

DAS Bedürfnis, über verschiedene Erscheinungen im Leben der Pflanze, die in den Lehrbüchern der Botanik entweder gar nicht behandelt oder nur kurz berührt werden, sich zu orientieren, ist in der Gegenwart ein viel lebhafteres und allgemeineres als früher. Ich kam deshalb einer Aufforderung der Verlagshandlung gern nach, eine allgemein verständlich gehaltene Pflanzenbiologie zu schreiben. Dabei war für mich der Gesichtspunkt maßgebend, aus dem riesigen Gebiet besonders interessante Erscheinungen herauszugreifen und eingehender zu beschreiben und möglichst jede tote Aufzählung von Pflanzenarten, die diese oder jene Eigenschaften gemeinsam haben, zu vermeiden. Das Buch soll kein Lehrbuch der Pflanzenbiologie sein, sondern eine einfache Darstellung interessanter Erscheinungen des Pflanzenlebens.

Für die Ausstattung des Werkes hat die Verlagshandlung in besonders anerkennenswerter Weise Sorge getragen.

Eisenach, August 1908

W. Migula

Vorwort zur zweiten Auflage

EINE neue Auflage der seit einer Reihe von Jahren vergriffenen Pflanzenbiologie wurde teils durch den Krieg mit seinen Folgeerscheinungen, teils durch das persönliche Befinden des Verfassers bisher verzögert. Bei der jetzt vorliegenden zweiten Auflage wurde Umfang und Inhalt nur wenig verändert, zumal gerade der Charakter des Buches seinerzeit in der Kritik eine überaus günstige Aufnahme gefunden hatte. Dagegen wurde der Text sehr genau durchgesehen, und überall, wo es notwendig schien, Verbesserungen oder Änderungen durchgeführt.

Der Verfasser konnte sich aber nicht entschließen, den verschiedentlich an ihn gelangten Sonderwünschen — oft sehr weit auseinandergehender Natur — zu ent-

sprechen, auch noch andere Gebiete der Biologie aufzunehmen. Dadurch würden Umfang und Preis des Werkes zu sehr angeschwollen und es würde weniger allgemein zugänglich geworden sein. Das Buch soll, wie im Vorwort zur ersten Auflage betont wurde, kein Lehrbuch der Pflanzenbiologie sein, sondern eine einfache Darstellung interessanter Erscheinungen des Pflanzenlebens.

Auch bei der zweiten Auflage hat die Verlagsbuchhandlung in bekannter, muster-gültiger Weise für die Ausstattung Sorge getragen, was insbesondere auch bei den zahlreichen neu aufgenommenen Abbildungen hervortritt.

Eisenach, Februar 1926

W. Migula

Inhaltsverzeichnis

Einleitung. Die Entwicklung der Pflanzenwelt	1
I. Abschnitt. Fortpflanzung der Gewächse	17
1. Kapitel. Vegetative Vermehrung, geschlechtliche und ungeschlechtliche Fortpflanzung	17
2. " Die Bedeutung der geschlechtlichen Fortpflanzung	43
3. " Narbe und Blütenstaub	47
4. " Die Übertragung des Pollens durch Wasser und Wind	52
5. " Die Übertragung des Pollens durch Tiere	58
6. " Die Insektennahrung in der Blüte	60
7. " Die Anlockung der Insekten durch die Blüten	63
8. " Gegenseitige Anpassung von Blumen und Insekten in der Gestalt	70
9. " Schutzmittel der Blüten gegen ungebetene Besucher	85
10. " Die Kreuzung	89
11. " Die Selbstbestäubung	96
12. " Die Bastardbildung	106
II. Abschnitt. Die Verbreitung der Pflanzen	108
1. Kapitel. Die Verbreitung der Pflanzen in vegetativem Zustande	108
2. " Die Verbreitung der Pflanzen durch Ausläufer, Brutknospen oder in trockenem Zustande	113
3. " Verbreitung der Pflanzen durch Sporen oder Samen	118
4. " Verbreitung von Samen und Sporen durch Wasser	129
5. " Verbreitung klebriger oder schleimiger Samen durch Tiere	132
6. " Verbreitung der Samen fleischiger Früchte durch Tiere	136
7. " Verbreitung nußartiger Samen und Früchte durch Tiere	141
8. " Verbreitung von Samen und Früchten mit Stacheln oder Widerhaken durch Tiere	145
9. " Das Ausschleudern von Sporen und Samen	147
10. " Fortbewegung der ausgefallenen Samen und Früchte und Einbohren derselben in den Boden	154
11. " Geokarpe Früchte	156
III. Abschnitt. Spezielle Schutzeinrichtungen der Pflanzen	159
1. Kapitel. Erhaltung des Lebens bei Eintritt ungünstiger Lebensbedingungen	159
2. " Schutzmittel der Pflanzen gegen parasitische Pilze	167
3. " Schutz der Pflanzen gegen Tierfraß	171
IV. Abschnitt. Anpassung der Pflanzen an Klima und Boden	184
1. Kapitel. Variabilität der Anpassungserscheinungen	184
2. " Der Einfluß des Windes	185
3. " Anpassung der Pflanzen an bestimmte Medien	189
4. " Anpassung an trockene, regenlose oder regenarme Gebiete	197

5. Kapitel.	Einfluß großer Feuchtigkeit auf Pflanzen	207
6. "	Einfluß verschiedener Lichtmengen	224
7. "	Der Einfluß der Temperatur	236
8. "	Der Einfluß der Höhenlage	246
9. "	Die Ausnutzung der Raumverhältnisse	250
10. "	Der Einfluß der chemischen und physikalischen Beschaffenheit des Bodens auf die Pflanzen	263
11. "	Typische und atypische Pflanzenformen	276
V. Abschnitt. Die Pflanzengesellschaften		284
1. Kapitel.	Die Bedingungen für das Gesellschaftsleben der Pflanzen	284
2. "	Der Wald in seinen verschiedenen Formen	292
3. "	Die Grasvegetationen	303
4. "	Die Heide	310
5. "	Die Moore	315
VI. Abschnitt. Biologie der Ernährung		321
1. Kapitel.	Nährstoffe und Ernährung der grünen Pflanzen	321
2. "	Der Parasitismus	323
3. "	Die Saprophyten	338
4. "	Die Mykorrhiza	341
5. "	Insektenfangende Pflanzen	344
VII. Abschnitt. Symbiose und Genossenschaftsleben		355
1. Kapitel.	Die Flechten	353
2. "	Die Knöllchenbakterien der Leguminosen	359
3. "	Symbiosen zwischen Algen und niederen Tieren	364
4. "	Pflanzen und Ameisen	367

E I N L E I T U N G

Die Entwicklung der Pflanzenwelt

N OCH um die Mitte des vorigen Jahrhunderts galt es den meisten Botanikern als eine unumstößliche Tatsache, daß die einzelnen Pflanzenarten schlechthin unveränderlich seien; ja viele nahmen an, daß diese Arten von Anbeginn des organischen Lebens auf der Erde existiert und daß sie besonderen Schöpfungsakten ihr Dasein zu verdanken hätten. Der Gedanke einer Entwicklung von unvollkommenen zu vollkommeneren Formen, wie er zuerst von Lamarck im Anfange des vorigen Jahrhunderts klar ausgesprochen wurde, fand wenig Anklang.

Erst die Arbeiten des großen englischen Forschers Charles Darwin, die um die Mitte des vorigen Jahrhunderts erschienen, riefen einen völligen Umschwung auf dem Gebiete hervor, und wenn auch gerade der wichtigste Teil seiner Lehre, die Selektionstheorie, sich nicht als so bedeutungsvoll für die Erklärung der allmählichen Entwicklung der Tier- und Pflanzenwelt erwiesen hat, so legte er doch die Grundlage, auf welcher eine Erforschung dieser so interessanten und doch so schwierigen Probleme erst möglich wurde.

Die Lehre Darwins läßt sich kurz in folgender Weise skizzieren: Die ersten lebenden Wesen sind durch Urzeugung entstanden. Aus ihnen hat sich allmählich im Laufe geologischer Perioden die gegenwärtig lebende Tier- und Pflanzenwelt herangebildet, und zwar im wesentlichen durch Selektion, d. h. natürliche Zuchtwahl. Es erbt nämlich jeder Organismus von seinem Mutterorganismus eine bestimmte Anzahl von Eigenschaften und diese vererben sich wieder auf seine Nachkommen. Daneben unterscheiden sich aber sowohl die einzelnen Nachkommen einer Generation untereinander, als auch von dem Mutterorganismus durch an sich unbedeutende individuelle Eigenschaften. Diese neu erworbenen Eigenschaften können bei den Nachkommen wieder verloren gehen, sie können sich aber auch vererben, sie können sich sogar bei einem Teil der Nachkommen weiter ausprägen, vertiefen und so können die Nachkommen eines Organismus, je nachdem sich die Eigenschaften nach dieser oder jener Richtung hin weiter entwickeln, allmählich immer mehr voneinander abweichen. Kleine Abweichungen werden im allgemeinen ohne Bedeutung sein, größere aber werden zwar für die Existenz der Pflanze ebenfalls häufig ganz

gleichgültig sein, sie können aber der Pflanze auch nützlich oder schädlich werden. Denn jeder Organismus hat nicht nur mit anderen einen Konkurrenzkampf um Platz, Nahrung, Licht, Luft usw. auszufechten, sondern auch seine verschiedenartigen Lebensbedürfnisse zu decken und sein Leben oft gegen schädliche äußere Einflüsse zu verteidigen. Sind in diesem von Darwin als Kampf ums Dasein bezeichneten Ringen die erworbenen Eigenschaften gleichgültig, so können sie bestehen bleiben und sich vererben, auch zu dauernden Merkmalen werden, ohne der Pflanze zu schaden oder zu nützen; sind sie nützlich, so werden sie der Pflanze den Kampf ums Dasein erleichtern und sie zum Siege über die weniger gut ausgestatteten Konkurrenten führen, sind sie aber schädlich, so wird die Pflanze im Kampf unterliegen und die Eigenschaften deshalb nicht auf Nachkommen vererben. Es werden deshalb nur solche Organismen zur Fortpflanzung gelangen und sich erhalten, deren Eigenschaften den jeweiligen Verhältnissen am besten angepaßt sind, alle anderen gehen in dem stets sehr erbitterten Konkurrenzkampf zugrunde. Diese natürliche Zuchtwahl bedingt aber auch unter den Nachkommen, daß die jeweils den bestehenden Verhältnissen am besten angepaßten Individuen auch am besten gedeihen und die anderen überwuchern. Auf diese Weise werden einzelne Eigenschaften, die für die Pflanze vorteilhaft sind, immer weiter ausgebildet, die Nachkommen weichen immer mehr von der Stammart ab, werden zu Varietäten und schließlich zu verschiedenen Arten.

Da dasselbe Resultat — z. B. Schutz gegen zu große Trockenheit — auf sehr verschiedenem Wege erreicht werden kann, so kann auch durch individuelle Variation nach verschiedenen Richtungen bei den Nachkommen einer Stammform der gleiche Erfolg erzielt werden. Es werden deshalb auch Pflanzen mit ganz verschiedenen Eigenschaften, wenn sie nur den entsprechenden Verhältnissen gleich gut angepaßt sind, den Kampf ums Dasein gleich gut bestehen können. So ist es zu erklären, daß unter gleichen Verhältnissen so verschiedenartige Pflanzen leben können und daß sich im Laufe der Zeit eine solche Fülle von Organismen entwickelt hat. Daneben können aber auch die Stammformen bestehen bleiben, wenn ihre Eigenschaften nur den jeweiligen Lebensverhältnissen angepaßt sind, so daß neben den hochentwickelten Organismen auch gleichzeitig noch solche aus einer viel früheren Entwicklungsstufe erhalten bleiben.

Das ist im wesentlichen die Lehre Darwins. Sie hat mit anderen Hypothesen gemein, daß sie die höher entwickelten Organismen von den tiefer stehenden abstammen läßt (Deszendenz- oder Abstammungslehre, Transmutationslehre), unterscheidet sich aber von ihnen dadurch, daß sie der natürlichen Zuchtwahl (Selektionstheorie) die Hauptrolle bei dieser Neubildung der Arten zuweist.

Obgleich man nun der Selektion nicht mehr diese bedeutsame Rolle zuweist, wie das Darwin getan hat, sind die Ansichten der dieses Gebiet bearbeitenden Forscher noch recht geteilt darüber, was an die Stelle der Selektion zu setzen ist. Lamarck, der eigentliche Vater der Deszendenztheorie, nahm schon an, daß

Formveränderungen der Organismen im wesentlichen auf inneren Ursachen beruhen, daß aber daneben auch äußere Einwirkungen, insbesondere Veränderungen der äußeren Lebensbedingungen bestimmend auf die Formveränderungen seien. Werden z. B. durch Veränderung der äußeren Verhältnisse einzelne Organe weniger oder gar nicht mehr gebraucht, so verkümmern sie, während sich andere Organe umbilden, wenn von ihnen andere Leistungen verlangt werden. Die inneren Ursachen, die zu Formveränderungen führen, sind nun nach Nägeli durch das Progressionsprinzip oder Vervollkommungsprinzip bedingt, das jedem Organismus innewohnt; bestimmte Gruppen von Merkmalen, die Organisationsmerkmale, gehören in das Bereich dieses Vervollkommungsprinzips und sind nur durch dieses, nicht durch äußere Einflüsse veränderlich, während alle Merkmale, die durch äußere Verhältnisse verändert werden, als Anpassungsmerkmale bezeichnet werden.

Nach Nägeli wohnt also jedem Organismus schlechthin die Tendenz der Vervollkommnung inne, und diese Tendenz führt allmählich zu Veränderungen in dem für die Organismen nützlichen Sinne. Dadurch steht Nägelis Lehre in direktem Gegensatz zu Darwins Selektionstheorie, nach welcher neben Organismen mit nützlichen auch solche mit schädlichen Eigenschaften sich unter den Nachkommen befinden, die einen sich infolge natürlicher Auslese erhalten, die anderen untergehen.

Während Darwin ferner der zufälligen allmählichen Variation, der Ausbildung und Vertiefung ursprünglich geringfügiger Abweichungen die Entstehung von Arten zuschreibt, nimmt de Vries die sprungweise Entstehung neuer Varietäten und Arten durch plötzliches Auftreten einzelner wesentlich abweichender Individuen unter den Nachkommen einer Art an (Mutationslehre).

Wagner und namentlich viele Zoologen führen die Entstehung von Arten hauptsächlich auf Wanderung von Individuen einer Art in Gegenden mit ganz anderen Lebensbedingungen zurück. Durch die veränderten Einwirkungen von außen werden nach dieser Migrationstheorie auch andere Formen und im Laufe der Zeit andere Arten entstehen.

Nach Weismann und Kerner schließlich entstehen neue Formen hauptsächlich durch Kreuzung, indem sich die verschiedenen Eigenschaften der Eltern auf die Nachkommen vererben, sich vermischen (daher Vermischungstheorie), wodurch die Nachkommen beiden Eltern unähnlich sein können.

Das sind die wichtigsten Versuche zur Erklärung der allmählichen Entwicklung der Organismen aus den niederen Anfängen zu ihrer gegenwärtigen Ausbildung. Es hat sich aber im Laufe der Zeit herausgestellt, daß für sich allein wohl keine dieser Hypothesen genügt, um für alle Erscheinungen in der organischen Welt eine zureichende Erklärung abzugeben. Andererseits steht aber fest, daß für einzelne Fälle diese, für andere jene Erklärung besser begründet ist.

Die Annahme, daß eine allmähliche Weiterentwicklung von einfacheren Organismen zu vollkommeneren auf der Erde stattgefunden hat, wird wohl kaum noch ernsthaft bestritten; wir haben auch direkte Beweise dafür in den Archiven, die die Erde uns bietet, in den Schichten, die sich in den verschiedenen

Perioden der Erdgeschichte abgelagert haben. Sie umschließen Reste von Tieren und Pflanzen, die in ihrem Bau und ihren Fortpflanzungserscheinungen um so einfacher werden, je älter die Schichten sind, die sie aufbewahrt haben. Die Blütenpflanzen treten beispielsweise sehr viel später auf, als die Farne, die Angiospermen wieder viel später als die weniger entwickelten Gymnospermen.

Je tiefer wir jedoch in die Schichten der Erde hinabsteigen, desto undeutlicher wird die Erhaltung der Reste; aber selbst in der ältesten Formation der Sedimentgesteine, im Präkambrium, finden sich vereinzelt Reste von ziemlich hochentwickelten Tieren, Trilobiten und Brachiopoden, so daß das organische Leben jedenfalls weit älter ist. Sind die krystallinen Schiefer auch aus Sedimentgesteinen hervorgegangen, wie wohl wenigstens für einen Teil anzunehmen ist, so sind uns in ihnen doch keine organischen Reste in erkennbarem Zustande erhalten geblieben; nur die zahlreichen Graphitschüppchen können vielleicht die Kohlenstoffreste von Organismen darstellen. Die ungeheure Zeit, welche seit dem Auftreten jener Wesen verflossen ist, der enorme über ihnen lagernde Gebirgsdruck und die weiche, für die Erhaltung wenig geeignete Beschaffenheit des Körpers jener Organismen läßt es von vornherein unwahrscheinlich erscheinen, daß sich noch erkennbare Reste von ihnen vorfinden werden.

Gerade daß sich aber von diesen älteren Wesen keine Reste erhalten haben, deutet darauf hin, daß sie auch auf einer tieferen Entwicklungsstufe sich befanden, denn auch aus späteren Perioden sind uns meist nur die entwickelteren, seltener und unvollkommener die tieferstehenden Organismen erhalten geblieben. Einen Ausgangspunkt aber muß die Entwicklung genommen haben, denn das Leben kann nicht von Ewigkeit her auf der Erde existiert haben, da sie einst ein gasglühender Feuerball war.

Die Frage nach der Entstehung der lebenden Wesen auf der Erde ist ungelöst und wird stets ungelöst bleiben. Es sind nur drei Möglichkeiten vorhanden; entweder sind die ersten Organismen durch einen Schöpfungsakt hervorgegangen, oder das Leben hat in der Welt von jeher bestanden und ist von außen (mit kosmischem Staub) auf die Erde gelangt (Gesetz von der Erhaltung des Lebens nach Preyer) oder es ist durch Urzeugung aus anorganischen Massen entstanden. Die Naturwissenschaft, deren Aufgabe durch die Beschäftigung mit den in der Natur vorkommenden Körpern und den in ihr wirkenden Kräften begrenzt ist, muß selbstverständlich versuchen, diese Kräfte zur Erklärung der Naturerscheinungen so weit heranzuziehen, als dies möglich ist. Sie wird deshalb im allgemeinen auch die Urzeugung als Grundlage für die Entstehung des Lebens auf der Erde annehmen, trotzdem irgendein anderer Gesichtspunkt dafür nicht existiert, als der, daß die Annahme einer Schöpfung mit Kräften rechnet, die eben niemals Gegenstand naturwissenschaftlicher Forschung sein können. Die Annahme der Existenz des Lebens in der Welt seit Ewigkeit würde aber dieses Gebiet ebenfalls aus dem Forschungsbereich der Naturwissenschaft rücken.

Hat aber eine Urzeugung oder elternlose Zeugung auf der Erde statt-

gefunden, so ist es selbstverständlich, daß die entstehenden Organismen auf der allertiefsten Stufe des Lebens standen, daß sie jedenfalls sehr viel einfacher gebaut waren, als die niedrigsten uns bekannten Wesen, die immerhin schon eine relativ hohe Differenzierung ihres Körpers erkennen lassen. Sie sind wahrscheinlich auch so klein gewesen, daß sie selbst mit unseren so hoch entwickelten Mikroskopen nicht sichtbar gemacht werden könnten, denn es ist doch wahrscheinlich, daß nur eine sehr beschränkte Zahl von Atomgruppen oder Molekülen in der gegenseitigen Lagerung und in dem Zustand sich befand, um die Eigenschaften des Lebens anzunehmen. Deshalb hat von diesem Gesichtspunkte aus die Annahme Nägelis durchaus nichts Unwahrscheinliches an sich, daß auch heute noch fortwährend Wesen durch Urzeugung entstehen, aber so einfach gebaute und so kleine Wesen, Probien, daß sie für uns überhaupt nicht wahrnehmbar sind. Wenn wir aber vom rein naturwissenschaftlichem Standpunkt eine Urzeugung als Ausgangspunkt des Lebens fordern, weil ein Schöpfungsakt durchaus nicht Gegenstand naturwissenschaftlicher Forschung sein kann, so dürfen wir doch nicht unbeachtet lassen, daß für das Vorhandensein einer Urzeugung keine einzige positive Beobachtung spricht, ja daß ein eminent großer wissenschaftlicher Glaube dazu gehört, sie als eine Tatsache zu betrachten, wie dies von einer sehr großen Zahl von Naturforschern geschieht.

In früheren Zeiten war das allerdings anders; da glaubte man, daß Fleisch- und Käsemaden aus faulendem Fleisch und Käse entstünden, später nahm man wenigstens für die Bakterien noch die Urzeugung in Anspruch. Aber auch dieser Glaube ist durch exakte Forschung zerstört worden, und wir kennen heute tatsächlich keinen einzigen Fall, in dem auch nur der Schein einer Urzeugung vorhanden wäre. Die verschiedensten Stoffe, die geeignetsten, die wir uns für die Entstehung des Lebens denken können, zeigen kein Leben, wenn nur alle Keime des Lebens in ihm zerstört und die Möglichkeit des Eindringens solcher von außen verhindert war. Fände in ihnen eine Urzeugung selbst solcher Organismen statt, die für unsere Hilfsmittel nicht wahrnehmbar wären, so müßte sich doch wenigstens eine Veränderung der Stoffe, auf deren Kosten die Organismen leben, bemerkbar machen; nichts von alledem ist beobachtet worden.

Andererseits stößt auch auf theoretischem Gebiete die Annahme einer Urzeugung auf mancherlei Schwierigkeiten. Wir wissen, daß bei allen uns bekannten Organismen das Plasma der Träger des Lebens ist. Dieses besteht aber aus Eiweißkörpern und die Eiweißkörper sind chemische Verbindungen von derartig komplizierter Zusammensetzung, daß eine sehr große Anzahl selbst wieder sehr kompliziert zusammengesetzter Atom- oder Molekülgruppen zu ihrem Zustandekommen zusammentreten müssen. Die Entstehung einer dieser Gruppen in der leblosen Natur ist schon sehr schwer anzunehmen, ein Zusammentreffen aller dieser Gruppen und eine Vereinigung derselben zu Eiweißmolekülen, zu Protoplasma würde aber vom chemischen Standpunkt aus als ganz unwahrscheinlich bezeichnet werden müssen. Der einzige Ausweg wäre der, daß wir für die Probien, wenn wir den Nägelischen Namen der Kürze wegen für alle durch Urzeugung entstehenden Organismen anwenden wollen, auch eine andere

Zusammensetzung der lebendigen Substanz annehmen müssen, eine Zusammensetzung, die sehr viel einfacher als die der Eiweißkörper ist. Man gelangt mit solchen Annahmen schließlich ins Wesenlose und man kann daran erkennen, daß auch die scheinbar so bequeme Urzeugung durchaus nicht so ohne weiteres zur Erklärung der Entstehung des Lebens herangezogen werden kann. Sie ist ebensowenig wissenschaftlich begründet, wie die Annahme eines Schöpfungsaktes oder des Bestehens des Lebens seit Ewigkeit.

Befinden wir uns dem ersten Auftreten lebender Organismen gegenüber völlig im Dunklen, so sind uns für ihre weitere Entwicklung doch einige Anhaltspunkte gegeben. Auch hier ist freilich noch das weitaus Meiste unsicher und wird von den verschiedenen Forschern ganz verschieden erklärt. Unsicher ist vor allen Dingen das Vorhandensein eines Vervollkommungsprinzips in den Organismen. Es gibt keine direkten Beweise dafür, und wenn das Vorhandensein eines solchen heute wohl von der Mehrzahl der Forscher angenommen wird, so ist das hauptsächlich in der Unmöglichkeit begründet, die allgemein und stetig fortschreitende Entwicklung der Organismen bloß auf zufällige Veränderungen und von außen wirkende Kräfte zurückzuführen. Dazu ist die allmähliche Vervollkommnung der Organismen zu allgemein verbreitet. Auch die allmähliche Vervollkommnung im Körper des Einzelindividuums deutet darauf hin; die einfache Samenanlage, der junge Keim ist äußerlich und innerlich viel einfacher gebaut als die entwickelte Pflanze, auch in der einzelnen Pflanze steckt das Bestreben, innerhalb der ihr zugewiesenen Entwicklung eine möglichste Vervollkommnung zu erreichen.

Die aus diesem Streben nach Vervollkommnung schließlich erreichte Entwicklungsstufe von Art, Gattung und Familie ist nach Nägeli charakterisiert durch die Organisationsmerkmale, von denen er die Anpassungsmerkmale streng scheidet, welche nicht aus inneren Ursachen, sondern infolge einer Reaktion der Pflanze auf die äußeren Verhältnisse erworben werden. Solche Anpassungsmerkmale können nach der strengen Auffassung Nägelis aber nicht zu Organisationsmerkmalen werden, sie würden dann, wenn wir diese Ansicht konsequent weiter verfolgen, auch niemals zu einer dauernden Vervollkommnung, Weiterentwicklung führen. Aber diese Annahme Nägelis ist ebenso ein Extrem nach der einen Richtung, wie die Selektionstheorie Darwins nach der entgegengesetzten, und wenn wir die Entwicklungsgeschichte des Tierreichs, soweit sie durch die Geologie bekannt geworden ist, mit heranziehen, so ist wohl kein Zweifel darüber möglich, daß durch Anpassung an bestimmte veränderte Verhältnisse erworbene Eigenschaften sehr wesentlich mitbestimmend auf die weitere Entwicklung der Organismen geworden sind.

Es liegt auch von theoretischen Gesichtspunkten aus kein Grund vor, ein allmähliches Übergehen von Anpassungsmerkmalen in Organisationsmerkmale zu bestreiten. Die Organisationsmerkmale einer Gruppe von Organismen sind andere als die ihrer Vorfahren; sie haben sich also entwickelt, und es wäre absurd anzunehmen, daß die Richtung dieser Entwicklung von Anfang an eine vorgeschriebene gewesen sei. Viel einfacher ist die Annahme, daß die Tendenz

der Vervollkommnung eine dem Organismus innewohnende ist, daß die Richtung aber, die diese Entwicklung nimmt, mindestens durch äußere Verhältnisse mitbestimmt wird. Sonst würden unter Umständen „Vervollkommnungen“ entstehen, die den veränderten Lebensbedingungen nicht Rechnung tragen und zu einem Untergang der Pflanzen führen müßten. Denn ein Grundgesetz der Natur ist es, daß die Eigenschaften der Organismen den jeweils bestehenden Lebensbedingungen entsprechen. Ändern sich diese und vermögen die Organismen nicht ihre Eigenschaften ebenfalls entsprechend zu ändern, so gehen sie zugrunde. Es ist deshalb ganz wahrscheinlich, daß, wie auch Wettstein annimmt, Anpassungsmerkmale allmählich in Organisationsmerkmale übergehen.

Die Fähigkeit zu variieren ist in höherem oder geringerem Grade allen Pflanzenarten eigen. Selbst Arten, die eine äußerst geringe Neigung dazu verraten, wie etwa der Roggen, lassen unter Tausenden von Pflanzen nicht zwei erkennen, die in allen Einzelheiten vollkommen gleich wären. Aber diese kleinen individuellen Unterschiede gleichen sich immer wieder in den folgenden Generationen aus, sie kommen also für die Entwicklung neuer Arten nicht in Betracht. Größere Abweichungen kommen bei anderen Pflanzen unter den Nachkommen einer Generation vor, und daß sich diese, besonders durch rationell geleitete Auslese nach bestimmten Richtungen hin weiter entwickeln lassen, ist eine jedem Züchter bekannte Erscheinung.

Diese künstliche Zuchtwahl wird in der Landwirtschaft und Gärtnerei schon lange praktisch angewendet und beruht auf der den Organismen innewohnenden Eigenschaft, ihre Merkmale auf die Nachkommen zu vererben. Merkwürdigerweise sind noch heute eine Anzahl Forscher der Ansicht, daß nur angeborene, nicht auch erworbene Merkmale vererbt werden, obwohl hier ganz bestimmte Beobachtungen vorliegen. Aber selbst wenn auch nur angeborene Merkmale vererbt würden, so ist dem Züchter dadurch die Möglichkeit geboten, eine Entwicklung der von ihm gezüchteten Pflanzen oder Tiere in ganz bestimmte Richtung zu bewirken. Als ein Beispiel dafür mag die Zuckerrübe dienen.

Die Zuckerrübe hatte bei ihrer ersten Benutzung zur Gewinnung des Zuckers kaum ein Drittel des Zuckergehaltes, den sie heute besitzt, und das ist durch stete Auswahl der jeweils zuckerreichsten Rüben eines Versuchsfeldes für Samen erzielt worden. Noch heute wird fortwährend an einer Verbesserung der Zuckerrüben gearbeitet, und zwar in der Weise, daß man von einer Anzahl auf einem Felde gewachsenen Rüben kleine Stücke herauschneidet und den Zuckergehalt jeder Rübe an gleichgroßen Stücken bestimmt. Die jeweils zuckerreichsten werden dann zur Samengewinnung verwendet und mit den aus ihrem Samen erzogenen Rüben wird dann in derselben Weise verfahren. Die Fähigkeit, größere Mengen Zucker zu bilden, vererbt sich wenigstens auf einen Teil der Nachkommen, während ein anderer Teil weniger Zucker bildet und einen Rückschlag darstellt. Setzt man diese Auswahl immer weiter fort, so erhält man einmal nicht bloß immer mehr Zucker liefernde Rüben, sondern die Menge der Rückschläge unter den Nachkommen wird auch immer geringer. Ähnlich ist es nun bei fast allen Kulturpflanzen gewesen, man hat von jeher die besten

und kräftigsten Pflanzen zur Fortpflanzung bestimmt und dadurch immer größere Erträge von ihnen erhalten.

Gleichzeitig haben sich aber auch die Kulturpflanzen immer mehr von ihren ursprünglichen Stammeltern entfernt, oft so weit, daß wir für eine ganze Anzahl derselben, besonders der Getreidearten, nicht mehr angeben können, von welcher Stammesart sie herzuleiten sind. Beim Mais fehlt uns sogar ein wild wachsender Vertreter der Gattung, und es ist nicht ausgeschlossen, daß die wild wachsende Stammart inzwischen ausgestorben ist und sich nur die Kulturform erhalten hat.

Wenn nun durch künstliche Zuchtwahl eine so erhebliche Abweichung von der Stammform innerhalb verhältnismäßig kurzer Zeiträume zu erzielen ist, so ist natürlich auch eine ähnliche Auslese in der Natur ohne künstliche Beeinflussung durch den Menschen, eine natürliche Zuchtwahl, zu erwarten, aber dieselbe wird unmerklich und erst in sehr langen Zeiträumen sich bemerklich machen. Daß sie überhaupt nicht der einzige Faktor bei der Entwicklung neuer Arten ist, sondern eine verhältnismäßig untergeordnete Rolle spielt, ist wenigstens sehr wahrscheinlich.

Die Variabilität ist den Pflanzen auch im Naturzustand eigen, und es werden sich unter den Nachkommen einer Art immer eine Anzahl wenn auch noch so geringfügige Abweichungen vom Typus finden, die sich wieder fortpflanzen und unter ihren Nachkommen wieder eine Anzahl Individuen haben, welche die Abweichungen noch etwas stärker zum Ausdruck bringen. So kann im Laufe vieler Generationen eine Abweichung, die zuerst gar nicht bemerkbar wird, sich so weit entwickeln, daß sich die Pflanzen deutlich als Abarten, Varietäten unterscheiden lassen, die aber oft durch eine ganze Reihe von Zwischenformen mit der Stammart noch verbunden sind. Schließlich entfernen sich die Abarten immer weiter von den Arten, und man würde in den beiden Endgliedern ohne weiteres ganz verschiedene Arten sehen, wenn nicht eine entsprechend Anzahl Zwischenformen vorhanden wären. Auf diese Weise sind die schlecht begrenzten Arten entstanden, deren Zahl sehr groß ist und sich noch immer weiter vermehrt, je genauer man verwandte Arten in ihren ganzen Verbreitungsbezirken verfolgt.

Ein Beispiel dafür sind die beiden deutschen Eichenarten, *Quercus pedunculata* und *Qu. sessiliflora*. Bei uns zeichnen sie sich durch ganz verschiedene Merkmale aus, z. B. die erstere durch sitzende Blätter und gestielte Blüten, die zweite durch gestielte Blätter und sitzende Blüten. In anderen Ländern finden sich aber Zwischenformen und Übergänge zwischen beiden, die eine scharfe Trennung beider unmöglich machen und zu der Überzeugung führen, daß es sich bei beiden nur um die Endglieder divergenter Reihen einer Art handelt. Solche divergente Reihen können aber auch in größerer Zahl von einer Stammart ausgehen, und das gibt dann den Anlaß zur Aufstellung sogenannter „schlechter Arten“, deren Abgrenzung gegeneinander unsicher ist (z. B. *Rosa*, *Rubus*, *Potentilla*).

Sind aber aus solchen durch Variation entstandenen Reihen einzelne Zwischen-

glieder untergegangen, so ist die Verbindung zwischen Art und Abart unterbrochen, die Merkmale der nächsten überlebenden Formen der Reihe am Rande der Unterbrechung sind durch eine größere Kluft getrennt, die Arten sind schärfer voneinander geschieden, um so schärfer, je mehr Zwischenformen zwischen den Endgliedern verschwunden sind. Dann sind durch den Variationsprozeß sogenannte „gute Arten“ entstanden.

Es wäre töricht, die Entstehung neuer Arten durch Variation völlig leugnen zu wollen. *Larix europaea* und *L. sibirica* sind in Ostasien und in Europa ganz verschiedene Arten. Aber sie sind durch einen weiten Raum getrennt, der durch Zwischenformen zwischen beiden eingenommen wird, so daß ein völlig allmählicher und unmerklicher Übergang zwischen beiden stattfindet. In systematischem Sinne wird man sie deshalb nicht mehr als verschiedene Arten betrachten, weil sie eben die Endglieder einer lebenden ununterbrochenen Reihe sind. Würden aber plötzlich die Zwischenformen durch ein gewaltiges Elementarereignis oder durch Ausroden der Wälder und Anbau neuer Waldbäume verschwinden, so würden wir ohne weiteres in beiden zwei gute Arten erblicken. Der Artbegriff ist eben eine vom Menschen erfundene Schablone, in welche die in der Natur vorkommenden Formen hineingepaßt werden; aber manchmal passen eben beide nicht recht zusammen.

Nach dem Gesagten können spezifisch verschiedene aber noch verwandte Pflanzen, also Arten durch Variation nur dann entstehen, wenn die Zwischenglieder verschwinden, sonst bilden sie eine geschlossene Formenreihe. Das Untergehen wird von sehr verschiedenen Ursachen abhängen, nach der Anschauung Darwins von dem Kampf ums Dasein. Der Kampf ums Dasein besteht nun einmal in einem Konkurrenzkampf mit andern Organismen, dann aber auch in dem Kampf gegen ungünstige äußere Lebensbedingungen und schließlich in der Ausbildung der Fähigkeit, aus den jeweils gegebenen Verhältnissen den größtmöglichen Nutzen zu ziehen. Welcher Organismus in diesen Beziehungen am besten ausgerüstet ist, wird auch am leichtesten über die weniger gut ausgerüsteten Mitbewerber siegen und zur Fortpflanzung und damit zur Vererbung seiner Eigenschaften gelangen.

Im allgemeinen leben auf der Erde so viele Pflanzenindividuen, als Platz vorhanden ist und ernährt werden können, die Zahl kann sich also nicht oder nur so unwesentlich vermehren, daß dies bezüglich der Gesamtzahl überhaupt nicht in Betracht kommt. Nichtsdestoweniger bringen die Pflanzen alljährlich ungeheure Mengen von Samen, die doch unmöglich alle zu neuen Pflanzen werden können. Denn gehen wir beispielsweise von einjährigen Pflanzen aus, so müßte es zur Erhaltung der Art in derselben Zahl der Individuen genügen, wenn jede Pflanze ein einziges Samenkorn brächte; manche bringen aber viele Tausende von Samen. Noch augenfälliger ist es bei den vieljährigen Pflanzen. Nehmen wir das durchschnittliche Alter einer Pappel zu 100 Jahren an, so würde es genügen, wenn die Pappel in den 100 Jahren ein Samenkorn brächte, sie bringt aber von einem bestimmten Alter an jährlich Hunderttausende von Samen. Es liegt nun auf der Hand, daß von diesen zahllosen Samen nur der allerkleinste

Teil wieder zu blühenden und Samen tragenden Pflanzen heranwächst, schon weil der verfügbare Raum auf der Erde nur eine bestimmte Zahl zuläßt, der größere Teil der Samen kommt also entweder überhaupt nicht zur Entwicklung oder die Pflanzen gehen zugrunde, ehe sie wieder Samen gebildet haben.

Ein großer Teil des Samens wird überhaupt gar nicht zum Keimen kommen, er wird von Tieren gefressen, von Pilzen zerstört oder fällt auf sterilen Fels oder ins Wasser und geht zu grunde. Ein ebenfalls großer Teil kommt aber zum Keimen und nun geht auch schon für die zarten Keimpflänzchen der Kampf ums Dasein los. Tausende und Abertausende der gleichen oder verschiedener Arten drängen sich oft auf einen Raum zusammen, der schließlich nur wenige tragen kann. Sehr bald bleiben auch einzelne zurück; sie sind vielleicht ursprünglich gleich kräftig wie die andern gewesen, haben aber mit ihren Wurzeln eine weniger feuchte oder salzreiche Stelle des Bodens getroffen, so daß sie — vielleicht nur einen Tag — schlechter ernährt wurden als ihre Genossen. Aber diese kurze Spanne Zeit hat über ihr Schicksal entschieden, die andern sind etwas kräftiger geworden, sie überwuchern und ersticken die zurückgebliebenen; so scheiden tagtäglich eine Anzahl Konkurrenten aus und schließlich bleiben nur die kräftigsten Pflanzen übrig. Das ist die einfachste Form des Kampfes ums Dasein.

Ein anderer Fall. Der Samen einer Pflanze wird etwa durch Tiere an eine weit entlegene Stelle gebracht; er entwickelt sich, die Pflanze bringt neuen Samen und dieser wird in der Nachbarschaft zerstreut. Diese Nachbarschaft ist aber nicht gleichartig, ein Teil ist auf feuchten, tiefgründigen Boden, ein anderer auf trockenen Sandboden gefallen. Die Samen gehen auf; die auf dem feuchten Boden finden dieselben Verhältnisse, wie ihre Mutterpflanze, sie gedeihen in derselben Weise weiter, sie variieren in derselben Weise, wie dies die Vorfahren auch getan haben, aber es findet keine Entwicklung der Abweichungen in bestimmter Richtung statt, weil keine besonderen Verhältnisse die Auslese einer bestimmten Form der Abweichungen begünstigt. Die auf dem trockenen Sandboden aufgegangenen Keimpflanzen finden aber ganz andere Verhältnisse vor. Zunächst geringere Feuchtigkeit und größere Bodenwärme; der Zustrom von Wasser und Nährstoffen ist geringer, sie werden deshalb von vornherein ein geringeres Wachstum zeigen, als ihre Geschwister auf dem feuchten Boden. Sie werden aber auch mehr unter Wassermangel überhaupt leiden, sie verdunsten verhältnismäßig zu viel Wasser, weil sie dem wasserärmeren Boden nicht angepaßt sind. Hier spielt nun unter Umständen die Variation eine Rolle. Unter den Individuen, die sich auf dem Sande entwickelt haben, sind vielleicht zwei oder drei oder nur eins, die infolge unbedeutender, individueller Variation etwas stärker behaart sind, als die andern. Diese etwas stärkere Behaarung schützt etwas besser vor zu starker Verdunstung, weil sich zwischen den Haaren eine mit Wasser gesättigte Luftschicht fängt, die eine weitere Wasserabgabe aus den Blättern erschwert. Diese Pflanzen sind also etwas besser ausgerüstet, um sich auf dem trockenen Sandboden zu entwickeln, sie werden vielleicht zur Bildung von Samen kommen, während die ganze übrige Schar der Geschwister ent-

weder der Trockenheit direkt erliegt oder von den andern, schon länger dem Sandboden angepaßten Pflanzen erdrückt wird.

Die zwei oder drei Pflanzen mit der stärksten Haarbildung pflanzen sich fort und vererben, wenigstens unter einem Teil ihrer Nachkommen, die Eigenschaft der stärkeren Haarbildung, bei einigen wieder, infolge individueller Variation, sogar in verstärktem Maße. Die letzteren werden natürlich noch besser zu dem Leben unter den Verhältnissen des Sandbodens ausgerüstet sein, sie werden sich am stärksten entwickeln und entweder allein Samen bringen und die andern überwuchern oder doch mehr Samen bringen als die andern und deshalb ihre Eigenschaften in größerem Prozentsatz vererben. So setzt sich durch den Kampf ums Dasein die natürliche Auslese allmählich fort, die Nachkommen werden immer stärker behaart, bis schließlich der Grad der Behaarung vollständig in entsprechendem Verhältnis zu den äußeren Bedingungen steht; alle weniger behaarten Formen werden, weil weniger gut ausgerüstet, immer wieder verschwinden; die Vererbung der Behaarung wird immer konstanter, ausgeglichener und schließlich kommen nur noch vereinzelte Rückschläge auf unbehaarte Formen vor. Das ist ein Merkmal, welches Variationen unterlag, gewöhnlich gehen auch noch Veränderungen anderer Merkmale damit Hand in Hand, so daß schließlich die auf dem Sand erwachsene Pflanze äußerlich ganz beträchtlich von den auf feuchtem Boden erwachsenen abweichen kann.

Die Behaarung ist aber nicht das einzige Mittel, eine stärkere Verdunstung zu verhindern, der Pflanze stehen da noch eine Anzahl andere zu Gebote. Eines der häufigsten ist z. B. die Verstärkung der Cuticula oder der äußeren Wände der Epidermiszellen, wodurch die Blätter ein derberes, oft lederartiges Aussehen erhalten. Es kann nun sehr leicht der Fall eintreten, daß von Samenkörnern, die nach einem anderen Sandhügel verschleppt wurden, Pflanzen aufgehen, unter denen sich zufällig eine Variation nach dieser Richtung hin fand, die sich weiter in derselben Richtung entwickelte, als in dem ersten Falle die Behaarung. So können also im Lauf von Generationen von der einen Stammpflanze drei verschiedene Formen entstehen, von denen nur die eine noch der Stammform entspricht, die beiden andern aber nach verschiedenen Richtungen durch natürliche Auslese sich von ihr entfernt haben; die Bindeglieder zwischen ihnen und der Stammpflanze sind verschwunden, weil sie im Kampf ums Dasein ihren besser ausgerüsteten Konkurrenten erliegen mußte.

Nach Darwins Auffassung spielen bei solchen Veränderungen die zufälligen individuellen Variationen und die natürliche Zuchtwahl allein eine Rolle in der Weise, wie sie eben geschildert wurde. Es sind aber, wie wir jetzt wissen, nicht die einzigen Faktoren von Bedeutung. Es steht vielmehr fest, daß die Pflanze selbst ein äußerst empfindliches Reaktionsvermögen gegenüber äußeren Einflüssen besitzt, d. h. die Fähigkeit, ihre Eigenschaften bis zu einem hohen Grade veränderten äußeren Verhältnissen anzupassen. Sie ist also bei solchen Veränderungen nicht ausschließlich passiv auf zufällige individuelle Variationen angewiesen, sondern vermag ihre Eigenschaften bis zu einem gewissen Grade aktiv nach den äußeren Einflüssen zu regulieren, selbst völlig zu verändern.

Das tritt selbst bei dem einzelnen Individuum in Erscheinung. Solche Anpassungen können allerdings nur allmählich vor sich gehen und die Pflanze versagt, wenn ihr auf einmal zu viel zugemutet wird. Wird eine bisher im Schatten erwachsene Pflanze plötzlich in grelles Sonnenlicht gebracht, so verwelkt sie, weil die Blätter der gesteigerten Transpiration nicht angepaßt sind. Bringt man sie aber allmählich im Laufe von Wochen aus dem Schatten an immer hellere Standorte, so kann sie entsprechend darauf reagieren, die neu entstehenden Blätter entwickeln eine stärkere Cuticula oder stärker verdickte Membranen der Epidermiszellen, die Blattflächen bleiben kleiner als die der Schattenblätter, die um eine bestimmte Menge Assimilationsprodukte zu bilden, größer sein müssen, weil sie sonst nicht genug Licht auffangen. Schließlich entwickeln sich die jungen Blätter in einer Weise, daß sie auch direktes Sonnenlicht dauernd vertragen. Die Pflanze ist also imstande, ihre neuen Organe derart auszubilden, daß sie den veränderten Verhältnissen angepaßt sind, und dies kann, soweit ältere Organe überhaupt noch veränderungsfähig sind, auch bei diesen noch eintreten. Ähnliche Reaktionen auf veränderte äußere Verhältnisse führt nun in geringerem oder höherem Grade wohl jedes Pflanzenindividuum im Laufe seines Lebens aus, sie gehören also zu den verbreitetsten Erscheinungen im Reiche des Lebens, wenn sie auch meist nicht besonders augenfällig sind.

Es werden also nicht bloß zufällige Variationen, sondern in weit höherem Maße die Änderungen der Eigenschaften infolge des Anpassungs- resp. Reaktionsvermögens zur Entstehung der Abarten, Varietäten, Arten führen; die Bedeutung der Selektion bleibt auch in diesem Falle bestehen. Denn sie begünstigt ebenso die Formen, welche durch Variationen zu einer den Verhältnissen am besten entsprechenden Entwicklung gelangt sind, als diejenigen, bei denen dasselbe durch gesteigertes Reaktionsvermögen erreicht wurde, während Formen mit geringerem Reaktionsvermögen oder mit Variationen in ungeeigneter Richtung untergehen.

Neben dieser allmählichen Entstehung von Arten, Abarten, Varietäten kommt es aber, wie de Vries gezeigt hat, auch zu sprunghaften Bildungen; aber diese Form der Artbildung durch Mutation ist jedenfalls nicht, wie de Vries etwas zu weitgehend annimmt, die einzige, wenn sie auch eine nicht unbeträchtliche Rolle spielen mag. Um sich aber auf den Standpunkt von de Vries zu stellen, muß man den Artbegriff sehr viel enger fassen, als dies heut ganz allgemein geschieht. Er nimmt an, daß die Eigenschaften der Organismen aus scharf voneinander unterschiedenen Einheiten aufgebaut sind, welche zu Gruppen aufgebaut und in verwandten Arten einzeln oder in denselben Gruppen wiederkehren können. „Übergänge, wie sie uns die äußeren Formen der Tiere und Pflanzen so zahlreich bieten, gibt es aber zwischen diesen Einheiten ebensowenig, wie zwischen den Molekülen der Chemie.“ Die Arten sind deshalb nicht fließend, sondern stufenweise auseinander hervorgegangen. „Jede neue, zu den älteren hinzukommende Einheit bildet eine Stufe und trennt die neue Form als selbständige Art, scharf und völlig von der Spezies, aus der sie hervorgegangen ist. Die neue Art ist somit mit einem Male da; sie entsteht aus der früheren ohne sichtbare

Vorbereitung, ohne Übergänge.“ De Vries nimmt an, daß sich die Pflanzen nur zeitweise in mutablen Perioden befinden, während die meisten uns begegnenden Pflanzen eine immutable Periode durchmachen. Eine Bedingung für das Eintreten einer mutablen Periode erblickt er in der raschen Vermehrung im Laufe weniger Jahre. Unter mehr als hundert von ihm in Kultur genommenen Pflanzen erwies sich nur eine im wesentlichen mutabel, *Oenothera Lamarckiana*, aus welcher er sieben neue völlig konstante Arten erhielt. Eine Fremdbestäubung wurde ausgeschlossen, sondern künstlich Selbstbetäubung herbeigeführt, so daß also eine Veränderung der Merkmale nicht auf Kreuzung mit Pflanzen von andern Eigenschaften zurückgeführt werden konnte. Dennoch entstanden unter den Nachkommen einer Pflanze plötzlich einige Individuen mit völlig veränderten Merkmalen, die sich in der Kultur in ihren Nachkommen konstant erwiesen, so beispielsweise eine ganz kurzgriffliche Form (*O. brevistylis*), eine Form mit roten Blattnerven (*O. rubrinervis*) usw. Alle diese Formen blieben in ihren Nachkommen konstant, zeigten sich also als streng voneinander geschieden und, wenn wir der Definierung des Artbegriffs nach de Vries folgen, als gute Arten.

Eine weitere Quelle der Artbildung ist in der Kreuzung verwandter Arten oder Formen zu erblicken. Im allgemeinen können die Nachkommen auch hier nur die Merkmale der beiden Eltern besitzen, aber diese sind nicht in gleichem Maße bei allen Nachkommen verteilt, ein Teil wird mehr nach dem Vater, ein anderer mehr nach der Mutter sich neigen, ja es können einzelne ganz der Mutter, andere ganz dem Vater ähneln. Es ist begreiflich, daß dadurch die Zahl der Formen, welche aus einer einzigen Kreuzung hervorgehen, sehr bedeutend sein kann und daß die Größe derselben mit der Zahl der unterscheidenden Merkmale der beiden Eltern wächst. Greift man einzelne der durch Kreuzung entstandenen Formen heraus und vermehrt sie entweder durch Selbstbefruchtung oder durch Kreuzung mit Individuen, welche dieselben Merkmale zeigten, so sind die Nachkommen stets wieder ziemlich vielgestaltig, ein Teil wird zwar in wechselndem Maße die Eigenschaften beider Stammeltern vereinigen, ein anderer wird aber ganz dem Vater, ein dritter ganz der Mutter ähneln; solche auf die Merkmale der einen oder der anderen Elternform zurückgehende Nachkommen pflegt man als Rückschläge zu bezeichnen. Die Zahl der Rückschläge ist anfangs sehr bedeutend, bei fortgesetzter Kreuzung mit Individuen der gleichen Merkmale verlieren sie sich aber mehr und mehr und es entstehen Rassen von schließlich großer Konstanz. Es scheint aber doch, als ob den durch Kreuzung verschiedener Arten entstandenen Formen eine gesteigerte Variabilität anhafte, vielleicht weil Kreuzungsprodukte nahverwandter Arten oder Varietäten überhaupt eine gesteigerte Fruchtbarkeit besitzen. Umgekehrt zeigen Kreuzungen zwischen weit entferntstehenden Arten oder verschiedenen Gattungen, soweit überhaupt dann noch keimfähige Samen entstehen, gewöhnlich eine verminderte Fruchtbarkeit oder sind selbst völlig steril.

Schließlich sei auch noch auf die Veränderungen hingewiesen, welche sich bei ein und derselben Pflanzenart an den verschiedenen Punkten ihres Verbreitungsbezirkes bemerkbar machen. Die verschiedenen klimatischen und Stand-

ortsverhältnisse gehen an dem Pflanzentypus nicht spurlos vorüber. Ein Edelweiß vom Albulapaß sieht ganz anders aus, als etwa seine Nachkommen in einem botanischen Garten der Ebene. Gewiß, das Edelweiß gedeiht auch hier, sogar üppiger als im Hochgebirge, aber man möchte in den mißfarbig grünen, nur wenig wolligen Stengeln kaum die glänzend weißwolligen Kinder des Hochgebirges wieder erkennen. Solche Unterschiede zeigen sich überall, und dieselbe Art von den entgegengesetzten Grenzen des Verbreitungsgebietes wird stets mehr oder weniger Verschiedenheiten zeigen. Die Beobachtung dieser Tatsache führte zu der Aufstellung der Migrationstheorie (Wagner), die besonders unter den Zoologen viele Anhänger hat.

Es unterliegt auch keinem Zweifel, daß wandernde Pflanzen an ihren neuen Standorten andere Verhältnisse vorfinden, als an ihrem Ausgangspunkt und daß eine entsprechende Reaktion auf diese neuen Verhältnisse zu Veränderungen der Eigenschaften der Pflanzen führen können; in einzelnen Fällen läßt sich ein direkter Nachweis dafür erbringen. Aber ebensowenig wie die andern Hypothesen über die Entstehung der Arten wird auch die Migrationstheorie für sich allein zur Erklärung ausreichen, da zweifellose Fälle von Veränderungen spezifischer Merkmale bekannt sind, bei denen die Migration nicht in Frage kommen kann. Und ausgewanderte Individuen einer Art werden in ihrer allmählichen Abweichung noch besonders dadurch unterstützt, daß die Möglichkeit der Kreuzung zunächst auf eine geringe Anzahl von Individuen beschränkt ist, ja daß vielleicht Selbstbefruchtung vorliegen muß, wenn sich eine Art an dem neuen Standort erhalten will.

Ist aber nur eine Kreuzung zwischen ganz wenigen Individuen möglich, so werden sich auch kleine individuelle Variationen im Lauf der Zeit weniger ausgleichen, als an Stellen, wo zahlreiche Individuen für die Kreuzung zur Verfügung stehen. Der Typus, der sich infolge veränderter Lebensbedingungen an dem neuen Standort entwickelt, wird weniger von anderen Formen beeinflusst und deshalb sehr bald immer weniger Rückschläge auf die Stammform zeigen. So wird die Entstehung neuer Arten in diesem Falle nicht ausschließlich auf Migration zurückzuführen sein, sondern es werden auch Faktoren dabei beteiligt sein, die in das Gebiet der Kreuzungserscheinungen gehören. Hier wird aber gerade umgekehrt, wie die Weismann-Kernersche Vermischungstheorie annimmt, nicht die Kreuzung von Individuen mit möglichst verschiedenen Eigenschaften, sondern gerade die Kreuzung von Individuen mit möglichst gleichen Eigenschaften die Entstehung einer besonderen Form oder Art befördern, weil eben die zahlreichen kleinen individuellen Variationen, die sonst im Lauf der Zeit immer wieder einen Ausgleich herbeiführen, fehlen, und die Form sich einseitiger vererben muß.

Die Vermischungstheorie kann überhaupt nur innerhalb beschränkter Grenzen als Erklärung für die Neuentstehung von Arten dienen; denn durch Vermischung oder Kreuzung können auf die Nachkommen eben nur die Eigenschaften der Eltern vererbt werden. Und wenn durch das verschiedene Maß der väterlichen und mütterlichen Merkmale auch eine außerordentliche Vielgestaltigkeit herbei-

geführt werden kann, so kann doch niemals ein neues Merkmal durch Kreuzung entstehen. Wo also ein neues Merkmal unter den Nachkommen gekreuzter Pflanzen auftritt, ist es durch Mutation oder Variation, niemals durch die Kreuzung selbst hinzugekommen.

Kreuzt man z. B. zwei verwandte Pflanzenformen, welche beide weißrippige Blätter haben, so können als Produkt der Kreuzung stets wieder nur Pflanzen mit weißrippigen Blättern auftreten. Kommen plötzlich einmal Pflanzen mit rotrippigen Blättern unter den Nachkommen vor, so sind diese roten Rippen nicht ein Produkt der Kreuzung, sondern sie sind durch Mutation entstanden, sie stellen Merkmale einer neuen Art dar, deren Entstehung auch ohne Kreuzung möglich gewesen wäre. Erwähnt mag noch werden, daß man früher die Kreuzungsprodukte zwischen verschiedenen Arten als Bastarde, die zwischen verschiedenen Varietäten einer Art als Blendlinge bezeichnete, ein Unterschied, der ohne Grund auch heute noch von vielen Forschern festgehalten wird. Denn die Grenzen zwischen Art und Varietät sind konventionell, was der eine kaum als Varietät betrachtet, ist dem andern schon eine gute Art. Beide Begriffe sind dem menschlichen Bestreben entsprungen, Gruppen besonders ähnlicher Individuen gegenüber Gruppen mehr oder weniger anders gearteter Individuen zusammenzufassen und dadurch eine ihm die Erkenntnis erleichternde Einteilung in der Fülle der ihn umdrängenden Gestalten zu schaffen.

Aber der Artbegriff ist nicht mehr derselbe unveränderlich feststehende wie zu Linnés Zeiten. Die Systematik begnügt sich im allgemeinen noch mit der Begrenzung des Artbegriffes, wie früher, die biologische Forschung sucht aber den Artbegriff präziser zu fassen, sie sucht die einzelnen Elemente, die Einheiten auf, welche den Inhalt einer Art bilden, und sie wird, wenn ihr das gelungen ist, vermutlich ganz andere Arten aufstellen, als dies die Systematik jetzt tut. Biologische Arten sind deshalb zum Teil jetzt schon etwas ganz anderes als systematische und es wird vermutlich noch eine lange Zeit vergehen, bis eine endgültige Klärung auf diesem Gebiete erfolgen kann. Ist dies geschehen, ist eine Klarheit vorhanden, was als Art zu betrachten ist, dann werden auch die Probleme der Deszendenz leichter eine Lösung finden; jetzt aber ist ein großer Teil der Fragen nur auf dem für die Naturwissenschaft immer gefährlichen Felde der Spekulation zu lösen. Wenn man sich von einseitigen Anschauungen auf diesen umstrittenen Gebieten frei hält, so kann man über die Veränderung der Organismen auf der Erde etwa folgendes sagen:

Es hat auf der Erde allmählich im Laufe enorm langer Zeitperioden eine Entwicklung der Organismen von den einfachsten Formen zu den höchstentwickelten der Gegenwart stattgefunden. Diese Entwicklung ist möglich geworden teils durch innere Ursachen, die in dem Vervollkommnungsprinzip der Organismen liegen, teils durch Änderungen der Eigenschaften infolge der Einwirkung äußerer Einflüsse. Die direkte Veranlassung zur Entstehung neuer Formen oder Arten ist zu suchen in der Variabilität und Mutabilität der Organismen, in der Kreuzung von Individuen mit verschiedenen Eigenschaften und in dem Reaktionsvermögen der Organismen gegenüber veränderten Lebens-

bedingungen. Unterstützt wurde die Entstehung neuer Arten durch die Ausbreitung, das Wandern der Organismen (Migration), wodurch dieselbe Art unter verschiedene Lebensverhältnisse gelangte, und durch die natürliche Zuchtwahl (Selektion), wodurch im Kampfe ums Dasein nur immer die jeweils den Lebensverhältnissen am besten entsprechenden Individuen zur Fortpflanzung und Vererbung gelangten, die weniger gut ausgerüsteten dagegen zugrunde gingen.



Fichte am Hirschstein bei der hohen Sonne unweit Eisenach, deren untere Äste sich am Ende aufrichten, bewurzeln und zu neuen Fichtenbäumchen werden

ERSTER ABSCHNITT

Fortpflanzung der Gewächse

I. KAPITEL

Vegetative Vermehrung, geschlechtliche und ungeschlechtliche Fortpflanzung

DIE Geologie hat gelehrt, daß die lebenden Wesen im allgemeinen um so einfacher organisiert waren, je früher sie auf der Erde auftraten. Damit ist nicht gesagt, daß nicht auch in der Gegenwart sehr einfach gebaute Organismen existieren, sondern nur, daß die höchst entwickelten Wesen jeder Periode tiefer stehen, als die höchstentwickelten der nächst jüngeren Periode. Freilich sind uns nur Organismen in Abdrücken oder Versteinerungen erhalten geblieben, die schon eine relativ hohe Entwicklungsstufe einnehmen, eine viel höhere, als die niedersten Tiere und Pflanzen der Gegenwart. Und das ist leicht begreiflich, wenn wir bedenken, wie klein und wenig widerstandsfähig derartige Organismen sind, so daß sie schon oft nach wenigen Tagen, oft nach Stunden, sich vollständig zersetzt haben, im natürlichen Lauf der Dinge also unmöglich in irgendeinem Zustande erhalten geblieben sein können.

Hat sich nun eine allmähliche Entwicklung der Organismen auf der Erde aus einfacheren in höher organisierte vollzogen, so müßten wir umgekehrt die Entwicklung zurück von den jetzt lebenden Tieren und Pflanzen bis zu dem ersten Ursprung des Lebens in den entferntesten Zeiten der Erde verfolgen können, wenn eben nicht sehr bald die Erkennung der organischen Reste in den Bodenschichten unmöglich würde. Wir würden dann schließlich an einen Punkt kommen, an welchem aus anorganischen Stoffen zum erstenmal ein mit Leben begabter organischer Körper entstanden ist.

Die Eigenschaften dieses ersten Lebewesens müssen sehr einfache gewesen sein: jedenfalls aber muß es gegenüber den unbelebten Körpern die Merkmale des Lebens besessen haben, zu denen auch Aufnahme und Assimilierung von Nahrungsstoffen und Wachstum gehören. Eine bestimmte Körpergestalt ist diesem Organismus jedenfalls nicht zuzusprechen, und der Naturforscher, der von den ihm bekannten Organismen ausgehend, gewöhnt ist, allen auf Gestalt und inneren



Aufbau bezüglich Angaben das Element der Zelle zugrunde zu legen, kann nur sagen, daß ein so hoch differenziertes Gebilde, wie es eine Tier- oder Pflanzenzelle ist, dem hypothetischen Urwesen noch nicht zukommen konnte. Wir kennen aber keine Organismen, deren Körper nicht auf die Zelle zurückzuführen wäre, und deshalb müssen wir annehmen, daß diese Uroorganismen und ihre nächsten Nachkommen entweder ausgestorben sind oder sich mit unsern gegenwärtigen Hilfsmitteln nicht erkennen lassen.

Aber vielleicht leitet ein merkwürdiger Organismus zu jenen Wesen über, dessen Existenz zwar zweifellos erwiesen ist, den wir aber mit unsern optischen Hilfsmitteln nicht zu erkennen vermögen. Bei einer Krankheit des Rindviehs, der Peripneumonie der Rinder, konnten zwei französische Forscher, Nocard und Roux, aus dem Körper der erkrankten Tiere einen Organismus züchten, welcher auf künstlichen Nährböden wuchs, sich wiederholt auf neue Nährböden und von diesen wieder auf Tiere übertragen ließ, bei ihnen wieder die Krankheit erzeugend. Aber wenn man von der schleimigen Substanz des Organismus etwas untersucht, so kann keine Präparationsmethode, kein Färbeverfahren, keine noch so starke Vergrößerung irgendeine Differenzierung in der homogenen Masse erkennbar machen. Hier tritt uns die Frage entgegen: Handelt es sich um eine Anhäufung getrennter, aus Zellen bestehender Individuen, die nur wegen ihrer Kleinheit unter der Grenze der Sichtbarkeit bleiben, oder um einen Organismus, der so tief steht, daß seine gesamte lebende Materie einen homogenen Schleim bildet, bei welchem ebensowenig wie bei einem dickflüssigen Gummischleim von Individuum oder Zelle gesprochen werden kann? Es gibt wohl noch einige andere Organismen, die sich dem eben besprochenen anschließen, deren Züchtung jedoch bisher nicht gelungen ist. So kommt beim Tabak eine gefürchtete Blattfleckenkrankheit, die Mosaikkkrankheit vor, welche die Blätter entwertet und welche nachgewiesenermaßen ansteckend ist. Die Erreger der Krankheit — denn jede ansteckende Krankheit muß auf lebende Wesen zurückgeführt werden — sind aber so klein, daß sie unter den stärksten Vergrößerungen nicht zu erkennen sind und noch durch Filter durchgehen, die von den kleinsten Bakterien nicht passiert werden können. Das gleiche gilt von den Erregern der Maul- und Klauenseuche, deren zweifelloose Entdeckung auch heute noch nicht sicher ist.

Ein solcher einfacher, lebender Schleimtropfen ist nun wohl auch der erste Uroorganismus gewesen; aber da er anorganische Nahrung aufnahm und diese in organische Stoffe überführte und zum Teil wenigstens seinem Körper einverleibte, so mußte sein ursprünglich jedenfalls molekulares Volumen zunehmen, er mußte wachsen. Da keine feste Membran den lebenden Körper zusammenhielt, so war die Möglichkeit einer Teilung desselben durch selbst geringfügige äußere Veranlassungen leicht gegeben; eine vom Grunde des Wassers aufsteigende Gasblase konnte ihn zerreißen, und damit war die erste Teilung, die erste Vermehrung, vollzogen.

Wenden wir uns von diesem zweifelhaften Urwesen zu den am tiefsten stehenden Wesen der gegenwärtigen Periode, den Bakterien, Amöben und verwandten Organismen, so finden wir auch bei ihnen im wesentlichen nur eine

Vermehrung durch Zweiteilung, die im Gefolge von Nahrungsaufnahme und Wachstum eintritt. Aber wir haben es hier mit Zellen zu tun, und diese Zellen sind Individuen, von denen sich nicht ein beliebiges Stückchen infolge äußerer Einflüsse loslöst, sondern die Zellteilung erfolgt bereits nach bestimmten inneren Gesetzen und ist stets eine Halbierung des Mutterorganismus.

Eine andere Vermehrungsform gibt es bei den eigentlichen Bakterien noch nicht. Wohl aber tritt neben der, nur der Vermehrung und Ausbreitung der Art dienenden, vegetativen Teilung noch ein zweites Prinzip bei einem Teile von ihnen schärfer hervor, nämlich das der Erhaltung der Art. Wir finden bei vielen Arten schon ein besonderes Organ dafür, die Endospore. Die Endosporenbildung stellt keine Vermehrung dar, denn es entwickelt sich in jeder Zelle nur eine Spore, aber sie entwickelt sich, wenn die äußeren Bedingungen für die vegetative Teilung, ja überhaupt für die Existenz der Bakterien ungünstig werden, und sie nimmt Eigenschaften an, welche speziell gegen solche ungünstige Verhältnisse, als da sind Nahrungsmangel, Trockenheit, Hitze, chemisch schädlich wirkende Stoffe schützen, und welche den gewöhnlichen „vegetativen“ Zellen fehlen.

Verfolgt man zunächst die rein vegetative Vermehrung weiter, so zeigt sich, daß sie lange Zeit eben nur in der Zellteilung besteht; erst bei den höheren Algen kommt es zur Bildung einer Art Brutknospen und bei der höchsten Algengruppe, den Characeen, treten ausgesprochene Ausläufer als sogenannte nacktfüßige Zweige auf.

Bei den Moosen kommt noch eine andere Form der vegetativen Vermehrung vor; vielfach wachsen die Moosstämmchen unter reichlicher Astbildung nach oben in demselben Maße weiter, als sie von unten her absterben. Die ursprünglich am Stamm sitzenden, oben weiter wachsenden Äste werden selbständige Pflanzen, sobald der Zusammenhang durch Absterben und Zerfall des betreffenden Stammteiles gelöst wird. Bei den Moosen tritt auch die Brustknospenbildung in ganz typischer Form auf, so bei dem überall an feuchten Gräben und sumpfigen Wiesen verbreiteten Lebermoos *Marchantia polymorpha*, bei welchem auf der Oberfläche des gabelig verzweigten, blattartigen Pflanzenkörpers kreisrunde Becher entstehen, die zahlreiche hellgrüne, sandkorngroße Körnchen, die Brutknospen, enthalten. Diese Brutknospen lösen sich als rundlicher Zellkomplex von der Mutterpflanze los und wachsen an geeigneten Stellen zu neuen *Marchantia*-pflänzchen aus. Bei andern Moosen sind die Einrichtungen wieder anders, bei einigen Arten können namentlich auch Zellen oder Zellkomplexe von der Spitze oder vom Rande der Blätter zu solchen Brutkörnern oder Brutknospen werden. Immer aber sind die Zellen nicht wesentlich von den gewöhnlichen vegetativen Zellen der Pflanze verschieden.

Auch bei den höheren Pflanzen finden wir die vegetative Vermehrung durch Brutknospen noch wieder, wenn sie auch hier nur bei einzelnen Arten eine größere Rolle spielt. Gerade hier sind es aber oft typische Knospen, d. h. verkürzte, von jüngeren Blattanlagen umhüllte Sprosse, so bei *Lilium bulbiferum*, der Feuerlilie, die in den Achseln der Stengelblätter die kleinen, dunkel rotgrünen bis

schwärzlichen etwas herzförmigen Knospen trägt. Bei andern Pflanzen entwickeln sich die Brutknospen an Stellen, wo man sie eigentlich nicht erwarten sollte, z. B. an Stelle der Blüten in dem Blütenstand des Knoblauchs; denn die hier entstehenden kleinen Zwiebelchen sind auch nichts anderes als Brutknospen. Brutknospen sind auch die kleinen rundlichen Sprosse an manchen Kakteen, besonders Mamillarien, die sich bis zu einer bestimmten Größe an der Mutterpflanze entwickeln, dann abfallen, oft durch Wind, Regenwasser oder selbst Tiere verschleppt werden und an passenden Standorten Wurzeln schlagen, um zu neuen Pflanzen auszuwachsen.

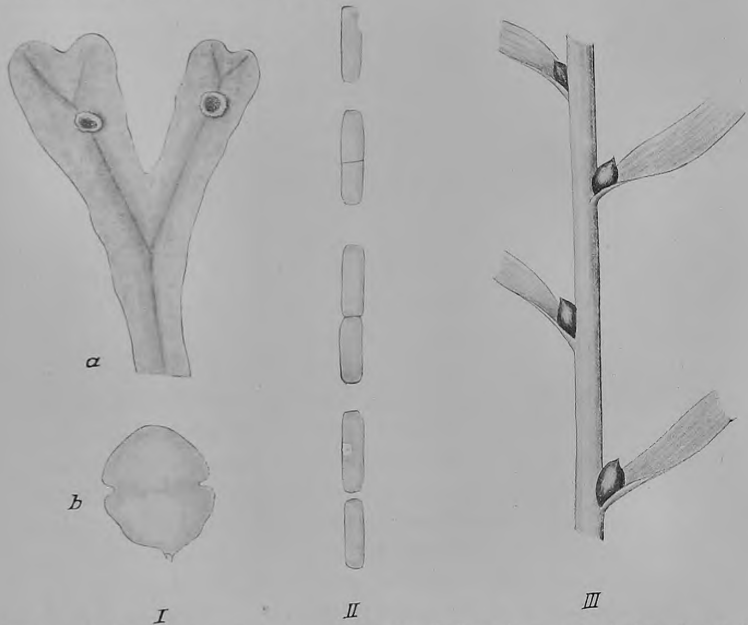


Fig. 1. I *Marchantia polymorpha*: a Teil des Thallus mit zwei Brutbechern in nat. Gr. b Brutkörperchen. II Schematische Teilung eines Stäbchenbakteriums. III Teil eines Stengels von *Lilium bulbiferum* mit Brutknospen in den Blattachseln

Die Ausläufer- oder Stolonenbildung, die schon bei den Algen vorkommt und von da an bei Moosen, Farnen und Blütenpflanzen eine ausgedehnte Verbreitung besitzt, ist ebenfalls eine Form der vegetativen Vermehrung. Wir kennen sie an unserer Gartenerdbeere, wo sie fälschlich als „Ranken“ bezeichnet werden, denn die Ausläufer der Erdbeere haben durchaus nicht das Bestreben, sich zu ranken, d. h. um andere Gegenstände herumzuschlingen, sondern kriechen in ziemlich geradliniger Richtung am Boden fort, von Zeit zu Zeit Knospen bildend, an denen neue Pflänzchen entstehen. Es sind also Sprosse, Äste, die aber von vornherein ein abweichendes Wachstum besitzen; die Stammstücke zwischen den Blättern, die Internodien sind sehr lang; sie vertrocknen und verschwinden, sobald die jungen, an den Knöten entstandenen Pflänzchen genügende Kraft erlangt haben,

und damit wird die Verbindung mit der Mutterpflanze unterbrochen. Solche Ausläufer zeigen sehr viele unserer einheimischen Pflanzen, z. B. der kriechende Hahnenfuß (*Ranunculus repens*), die Quecke (*Triticum repens*), das Schilfrohr (*Phragmites communis*); von letzterem habe ich an den Altwässern des Rheins bis 18 Meter lange Ausläufer beobachtet.

Auch die Stecklinge, Ableger oder Absenker gehören in das Gebiet der vegetativen Vermehrung, und gerade sie werden in der Gärtnerei in ausgedehntestem Maße zur Individuenvermehrung benutzt. Natürlicherweise entstehen sie, wenn normale Sprosse einer Pflanze an irgendeiner Stelle dauernd mit feuchter Erde in Berührung kommen. Hierdurch wird ein Reiz auf manche Pflanzenarten an diesen Stellen ausgeübt, wodurch es hier zur Entwicklung von Wurzeln kommt, ganz ähnlich, wie sich auch Wurzeln an den Knoten der Ausläufer bilden. Es entstehen gewissermaßen selbständige Teile der Mutterpflanze, welche erhalten bleiben, wenn die Mutterpflanze abstirbt, oder wenn die Verbindung mit ihr unterbrochen wird. Solche Senkerbildungen sind z. B. bei Sträuchern in der Natur gar nicht selten, sie fallen aber wenig auf und werden gewöhnlich übersehen.

Man findet sie aber auch bei Pflanzen, bei denen sie im allgemeinen nicht erwartet werden, z. B. bei Fichten. Frei wachsende Fichten behalten ihre Äste gewöhnlich bis fast auf den Boden herab. Mit zunehmendem Alter der Fichte werden die Äste größer und schwerer und biegen sich in der Mitte bis auf den Boden, wo sie schließlich von Nadeln und allmählich von einer Humus- und Erdschicht bedeckt werden, während sie mit dem freien Ende sich aufrichten. Allmählich, oft erst nach vielen Jahren, entstehen an dem mit Erde überdeckten Teil des Zweiges Wurzeln, das freie Ende wird jetzt zum Gipfel eines neuen Stämmchens, welches allerdings noch mit der Mutterpflanze in Verbindung steht, und richtet sich allmählich völlig senkrecht auf. So entstehen oft rings um den alten Stamm kleine Nachkommen desselben auf rein vegetativem Wege. (Taf. 1.)

In allen diesen Fällen der vegetativen Vermehrung sind die Zellen, aus denen die junge Pflanze hervorgeht, nicht wesentlich verschieden von den benachbarten Zellen der Mutterpflanze; abgesehen von den Fällen der einfachen Zellteilung bei den einzelligen Pflanzen sind es auch fast stets mehrzellige Komplexe, die sich von der Mutterpflanze loslösen, um ein gesondertes Dasein zu beginnen. Wenn aber die Entstehung neuer Individuen zurückzuführen ist auf besonders geartete, von den übrigen Zellen der Pflanze abweichende Zellen, und wenn der Ausgangspunkt einer Pflanze auf nur eine einzelne, eventuell durch Verschmelzung zweier Zellen entstandene Zelle zurückzuführen ist, so sprechen wir von Fortpflanzung.

Man unterscheidet zwischen ungeschlechtlicher und geschlechtlicher Fortpflanzung. Bei der ersteren entwickelt sich das neue Individuum aus einer einzigen Fortpflanzungszelle, während zum Zustandekommen der geschlechtlichen Fortpflanzung die Vereinigung zweier Zellen notwendig ist. Nicht immer sind auf der niedersten Stufe der Entwicklung beide Formen scharf getrennt; es kommen

Übergänge zwischen beiden vor, auch Vorgänge, bei denen man nicht weiß, ob es sich um einen Akt der geschlechtlichen Fortpflanzung handelt oder nicht.

Die ungeschlechtliche Fortpflanzung durch Ausbildung bestimmter, der Fortpflanzung dienender Zellen ist jedenfalls die ursprünglichere und einfachere Form. Im einfachsten Falle hat sie nur, wie die vegetative Vermehrung, eine einfache Individuenvermehrung zum Zweck; die Fortpflanzungszellen wachsen sofort zu neuen Individuen heran; dabei kann die Mutterpflanze sich vollständig in solche Fortpflanzungszellen umbilden und damit ihr individuelles Dasein beschließen, oder es bildet sich nur ein Teil der Mutterpflanze zu solchen Fortpflanzungszellen um, der übrige wächst weiter oder stirbt schließlich ab.



Fig. 2. Schwärmersporen von Algen. 1 von *Oedogonium*, 2 von *Botrydium granulatum*, 3 von *Conferva bombycina*, 4 von *Stigeoclonium*, 5 von *Ectocarpus*

Die Formen dieser ungeschlechtlichen Fortpflanzung sind überaus mannigfaltig, besonders auch noch dadurch, daß zu diesem einfachen Prinzip der Individuenvermehrung auch noch ein zweites hinzutritt, nämlich das der Erhaltung der Art während ungünstiger Verhältnisse, z. B. während des Winters.

Die einfachsten Formen der ungeschlechtlichen Fortpflanzung finden wir wieder bei den Algen; aber gleichzeitig bei ihnen auch die größte Vielgestaltigkeit. Sehr häufig sind geschlechtliche und ungeschlechtliche Fortpflanzung nebeneinander vorhanden, und dann dient die letztere wesentlich der Vermehrung und Ausbreitung der Art, während die erstere gewöhnlich der Erhaltung der Art während der Vegetationsruhe oder sonst ungünstiger Verhältnisse dient.

Wenden wir uns wieder den Grünalgen zu, bei denen nicht nur der größte Formenreichtum, sondern auch die größte Mannigfaltigkeit hinsichtlich der Fortpflanzungsprozesse herrscht, so finden wir die ungeschlechtliche Fortpflanzung durch im wesentlichen zwei verschiedene Formen vertreten: die Fortpflanzungszellen sind beweglich oder unbeweglich. Die letzteren bilden den Übergang zur vegetativen Vermehrung, unterscheiden sich aber von den rein vegetativen Zellen entweder durch verdickte Zellhäute (Akineten) oder durch Ausbildung einer neuen Zellmembran (Aplanosporen); außerdem machen sie meist eine Ruheperiode durch, ehe sie zu keimen beginnen.

Die beweglichen Fortpflanzungszellen, Schwärmersporen, sind bei den Algen weit verbreitet. Sie entstehen einzeln oder zu mehreren bis sehr vielen in einer Zelle, deren Inhalt sich dann ganz oder doch zum allergrößten Teil in solche Schwärmer umwandelt. Ihre Gestalt ist gewöhnlich ei- oder birnförmig, doch kommen auch alle möglichen anderen Formen vor. Die Beweglichkeit wird vermittelt durch sehr feine Fäden, Geißeln oder Cilien, die meist zu zwei oder vier, zuweilen auch zu vielen in einen Kranz geordnet am Vorderende stehen. Die aus der Mutterzelle entleerten Schwärmersporen schwärmen nun eine Zeitlang

umher, setzen sich dann mit dem geißeltragenden Ende irgendwo fest, verlieren die Geißeln und wachsen zu neuen Pflanzen heran.

Die geschlechtliche Fortpflanzung ist nun noch viel mannigfaltiger und man kann von vornherein drei verschiedene Typen unterscheiden:

1. beide Geschlechtszellen sind unbeweglich;
2. beide Geschlechtszellen sind beweglich;
3. die größere (weibliche) Geschlechtszelle ist unbeweglich, die kleinere (männliche) ist beweglich.

Jedenfalls ist die geschlechtliche Fortpflanzung allmählich aus der ungeschlechtlichen hervorgegangen, und wir finden jetzt noch vielfach direkte Übergänge zwischen beiden. Es kommt bei vielen Algen vor, daß Fortpflanzungszellen, die normalerweise sich mit anderen vereinigen, kopulieren, sich auch ohne Befruchtung durch eine andere Zelle, ohne Kopulation, zu neuen Individuen entwickeln können, wenn sie keine Gelegenheit zur Kopulation gehabt haben, ein Vorgang, den man als Parthenogenese bezeichnet. Der Übergang von der einen zur anderen Form der Fortpflanzung ist also hier ganz von den Verhältnissen abhängig.

Noch auffälliger ist die allmähliche Entwicklung der geschlechtlichen Fortpflanzung bei

den Kieselalgen oder Diatomeen. Die Pflanzen dieser Klasse sind einzellige, sehr zierliche Organismen, deren Zellmembran durch Einlagerung von sehr viel Kieselsäure hart und starr geworden ist. Die Membran besteht aber aus zwei Hälften, die wie Schachtel und Deckel genau übereinander passen, so daß die eine Hälfte, die Schachtel, um die Dicke der Wand des Deckels in jeder Richtung schmaler ist. Wenn die Zelle durch Assimilation und Aufnahme von Wasser an Volumen zunimmt, so kann das bei der Starrheit der Membranen nur dadurch geschehen, daß der übergreifende Deckel allmählich immer mehr emporgehoben wird, bis sich dieser mit der Schachtel nur noch an den Rändern berührt. Dann erfolgt eine Zellteilung, und es bildet sich innerhalb jeder alten Schachtelhälfte eine neue Membranhälfte in der Weise, daß die beiden alten Schachtelhälften zu Deckeln, die neuen zu Schachteln werden. Auf diese Weise sind zwar zwei neue Individuen entstanden, aber das eine dieser ist mindestens um die Stärke der Kieselmembran nach allen Richtungen hin kleiner als das Mutterindividuum, und bei weiteren Teilungen müssen die Tochterindividuen immer wieder um die Dicke der Kieselmembran kleiner werden. Das würde natürlich, da die Zellen an einem Längswachstum durch die starre Membran gehindert sind, schließlich zu einer derartigen Verkleinerung der Zellen führen, daß sich

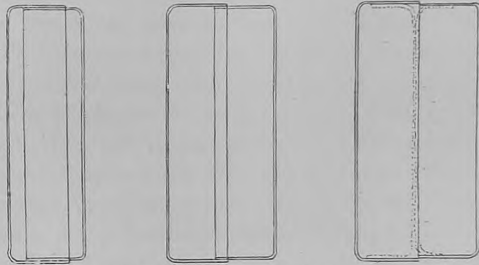


Fig. 3. Auseinanderweichen der Schalen und Teilung einer Diatomeenzelle

keine normalen Lebensfunktionen mehr in ihnen abspielen können, und damit würde das Erlöschen der Art verbunden sein.

Sind aber die Zellen ungefähr bis zur halben normalen Größe herabgesunken, dann tritt ein Vorgang ein, den man als Auxosporenbildung bezeichnet und bei welchem eine Vergrößerung der Zellen oft über das doppelte eintritt.

Die Auxosporenbildung verläuft nun in recht verschiedener Weise, doch genügt es, wenn wir die drei wichtigsten Typen herausgreifen und kurz behandeln, da die anderen Formen der Auxosporenbildung für die hier erörterte Frage keine besondere Bedeutung haben.

Im einfachsten Falle weichen infolge von Volumenvergrößerung des Zellinhaltes durch Wasseraufnahme die beiden Schachtelhälften auseinander, der Zellinhalt tritt aus dem Kieselpanzer heraus, streckt sich unter fortwährender Wasseraufnahme auf die etwa doppelte Länge und umgibt sich mit neuen Kieselschalen. Die auf diese Weise entstandene Auxospore hat gewöhnlich etwas anders gezeichnete Schalen als sonst die Zellen der Art, teilt sich aber ebenso wie diese weiter, und schon die nächsten Tochterzellen zeigen wieder die normalen Schalen. Hier ist also die Auxosporenbildung tatsächlich nichts weiter als ein Mittel zur Vergrößerung der zu klein gewordenen Zellen.

Bei dem zweiten Typus findet eine Auxosporenbildung nur statt, wenn zwei Individuen nebeneinander liegen. Dann tritt der Zellinhalt beider aus den Schalen hervor; es findet gewöhnlich eine Berührung oder doch eine Verbindung beider durch Schleimmassen, aber keine Verschmelzung statt, sondern jeder streckt sich auf die doppelte Länge und umgibt sich gesondert mit einer neuen Kieselhülle. Hier ist doch bereits eine gegenseitige Beeinflussung der beiden Zellen vorhanden; es kommt eben nur zur Auxosporenbildung, wenn zwei in dem gleichen Stadium befindliche Zellen nebeneinander liegen. Ob dabei wirklich ein gegenseitiger Austausch von Stoffen stattfindet, oder nur eine Reizwirkung, mag dahingestellt bleiben.

Bei dem dritten, am höchsten entwickelten Typus der Auxosporenbildung legen sich zwei Zellen nebeneinander, die Inhalte beider treten heraus und verschmelzen miteinander zu einer neuen Zelle, die sich in die Länge streckt und sich mit neuen Kieselhüllen umgibt. Oft findet sogar eine vorherige Teilung in zwei Zellen statt. Hier ist also ein zweifellos typischer Geschlechtsprozeß vorhanden und hier hat sich die geschlechtliche Fortpflanzung nicht aus einer Form der ungeschlechtlichen Fortpflanzung, sondern aus einem der Vergrößerung der Zellen dienenden Vorgang entwickelt. Ganz ähnlich ist noch die geschlechtliche Fortpflanzung bei den am tiefsten stehenden Grünalgen, den Conjugaten. Hier sind aber keine starren Kieselmembranen vorhanden, die Zellen können wachsen und eine Auxosporenbildung ist nicht nötig; eine ungeschlechtliche Fortpflanzung fehlt ihnen aber ebenso wie den Diatomeen.

In der ersten Gruppe der Conjugaten, den Desmidiaceen, fällt die Ähnlichkeit der geschlechtlichen Fortpflanzung mit der der Diatomeen sofort in die Augen; auch die Zellmembran besteht in der Regel noch aus zwei deutlich gesonderten Stücken, wenn dieselben auch nicht mehr schachtelartig übereinander

greifen. Man nennt den Fortpflanzungsprozeß hier Conjugation oder Copulation, und wenn sich die Algen dazu anschicken, legen sich zwei Individuen nebeneinander, die Zellinhalte beider treten aus den Membranen, die in ihre zwei Hälften zerfallen, hervor, verschmelzen, meist unter Kontraktion, miteinander zu einer einzigen Zelle, der Zygospore, die sich mit einer derben, zuweilen mit Stacheln oder allerlei Fortsätzen besetzten Membran umgibt. Während sich aber die Auxospore der Diatomeen gewöhnlich bald in vegetativer Weise weiter entwickelt, macht die Zygospore einen Ruhezustand durch, es kommt ihr also, wie den meisten geschlechtlich erzeugten Sporen die Aufgabe zu, die Art während ungünstiger vegetativer Verhältnisse am Leben zu erhalten. Auch wenn sie sich dann, etwa im Frühjahr, nach der Winterruhe von neuem entwickelt, keimt, geschieht dies in anderer Weise; es entsteht zuerst eine Keimzelle, aus der sich durch Teilungen mehrere neue vegetative Zellen entwickeln. Wir haben also hier bereits ein wesentlich weiter vorgeschrittenes Stadium der geschlechtlichen Fortpflanzung.

Schon etwas weiter entfernt sich der Fortpflanzungsprozeß bei der zweiten Gruppe der Conjugaten, den Zygnemaceae, von dem der Diatomeen. Die Zygnemaceen sind fadenbildende Algen, und wenn sich auch alle Lebensprozesse bei ihnen noch in einer Zelle abspielen, so sind sie doch durch die Vereinigung ihrer Zellen zu langen unverzweigten Fäden auch in ihrer vegetativen Form auf einer höheren Stufe angelangt; auch die Teilung der Zellmembran in zwei Hälften ist bei ihnen nicht mehr vorhanden. Bei der geschlechtlichen Fortpflanzung legen sich gewöhnlich zwei Fäden parallel nebeneinander und die korrespondierenden Zellen beider Fäden treiben schlauchförmige Fortsätze gegeneinander, die schließlich an der Berührungsstelle miteinander verschmelzen. Entweder vereinigt sich nun der Inhalt beider Zellen in dem Verbindungskanal zu einer Zygospore, oder der Inhalt der einen Zelle tritt in die Zelle des anderen Fadens über und verschmilzt mit dem Inhalt der letzteren. Im letzteren Falle haben wir bereits einen weiteren Fortschritt in der Entwicklung der geschlechtlichen Fortpflanzung, indem hier eine Andeutung einer Verschiedenartigkeit der Geschlechter vorliegt, einer weiblichen ruhenden, empfangenden und einer männlichen, beweglichen, befruchtenden Zelle.

Damit schließt aber diese Form der Entwicklung einer geschlechtlichen Fortpflanzung, die wir von der Auxosporenbildung der Diatomeen herleiten, ab, wie die Konjugaten nach oben überhaupt keine weitere Entwicklung zeigen. Bei den übrigen Grünalgen hat die geschlechtliche Entwicklung jedenfalls einen anderen Ursprung gehabt und ist direkt aus der ungeschlechtlichen hervorgegangen.

Wenn, wie jetzt allgemein angenommen wird, diese Algen von einer Gruppe der niedersten Tiere, den Flagellaten, abstammen, so stehen den letzteren wieder

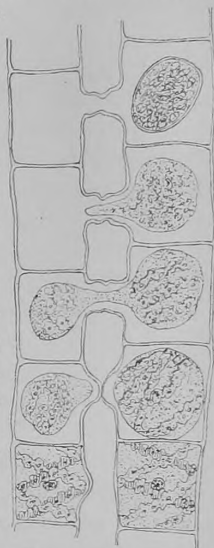


Fig. 4. Leiterförmige Kopulation einer *Spirgyra* in aufeinanderfolgenden Stadien

die Chlamydomonadinen am nächsten. Das sind einzellige Algen, die den Charakter der Beweglichkeit auch während ihres gewöhnlichen vegetativen Zustandes noch besitzen, wie er auch den Flagellaten zukommt; der Chlorophyllgehalt unterscheidet sie von ihnen. Gerade bei der Gattung *Chlamydomonas* finden wir eine große Mannigfaltigkeit der Fortpflanzungsprozesse. Bei einem Teil der Arten ist die Fortpflanzung ausgesprochen ungeschlechtlich; die entstehenden Schwärmer sind den Mutterzellen ähnlich, nur kleiner, und wachsen auch direkt wieder zu gewöhnlichen vegetativen Zellen heran. Bei einem zweiten Teil ist die Fortpflanzung normalerweise geschlechtlich, zwei gleichgestaltete Schwärmer verschmelzen miteinander zu einer Zygosporie; kommt es aber aus irgendeinem Grunde nicht zu einer Copulation, so können sich auch die Schwärmer parthenogenetisch zu neuen Pflanzen entwickeln. Bei einer dritten Gruppe endlich ist bereits ein Unterschied der Geschlechter vorhanden, wenn auch beide noch schwärmen; es gibt größere und kleinere Schwärmer und je ein größerer (weiblicher) vereinigt sich bei der Conjugation mit einem kleineren (männlichen). Hier finden wir also innerhalb einer einzigen Gattung eine beträchtliche Entwicklung der geschlechtlichen Fortpflanzung.

Die nächste, sich unmittelbar an die Chlamydomonadinen anschließende und mit ihnen sehr nahe verwandte Familie sind die Volvocaceae, die sich im wesentlichen dadurch unterscheiden, daß ihre Zellen nicht einzeln, sondern in Familien von bestimmter Form zusammenleben.

Hier ist wenigstens bei den verschiedenen Gattungen ein beträchtlicher Unterschied in der Fortpflanzung vorhanden. Bei *Gonium* kennt man mit Sicherheit nur den allmählichen Zerfall der Zellen in 16 Tochterzellen, die dann wieder neue Kolonien bilden. Bei *Pandorina Morum* kommt nicht nur diese Vermehrungsform vor, sondern auch eine geschlechtliche Fortpflanzung durch bewegliche Geschlechtszellen (Gameten), die gleich oder ungleich groß sind. Hier ist also manchmal bereits eine Andeutung der Verschiedenheit der Geschlechter gegeben, während ein solcher Unterschied bei *Stephanosphaera pluvialis* noch nicht vorhanden ist und die Gameten gleich groß sind (Isogameten).

Bei *Eudorina elegans* ist aber ein ausgesprochener Unterschied zwischen Eizelle und männlicher Geschlechtszelle (Spermatozoid) vorhanden. Die Zellen, meist 32 an der Zahl, liegen in weiten, regelmäßigen Abständen in einer länglich-rundlichen Gallerthülle; die vier oberen gehen durch wiederholte Teilungen in je 64 lang birnförmige Spermatozoiden über, während die 28 anderen sich in weibliche Geschlechtszellen (Eizellen, Oosphären) umwandeln. Damit ist dann im wesentlichen die geschlechtliche Fortpflanzung zu der Stufe der Entwicklung gelangt, wie sie auch den höher entwickelten Kryptogamen zugrunde liegt: eine ruhende weibliche Geschlechtszelle (Eizelle) und eine bewegliche männliche (Spermatozoid). Im einzelnen ist natürlich der Prozeß der geschlechtlichen Fortpflanzung großer Verschiedenheiten fähig; am höchsten entwickelt ist sie bei der Gattung *Volvox*.

Bei den Pilzen, die mit den Algen zusammen die Thallophyten bilden, finden wir umgekehrt mit zunehmender Entwicklung der Pilzform eine Abnahme der

geschlechtlichen Fortpflanzung bis zum völligen Verschwinden bei den höchstentwickelten Formen. Es ist ganz zweifellos, daß Algen und Pilze miteinander verwandt sind, und je mehr die letzteren noch ihre geschlechtliche Fortpflanzung bewahrt haben, desto mehr Verwandtschaft zeigen sie mit den ersteren. Diese geht bei einer Gruppe so weit, daß man sie sogar direkt Algenpilze genannt hat. Wenn aber bei einem Teil derselben auch noch eine ausgesprochene ge-

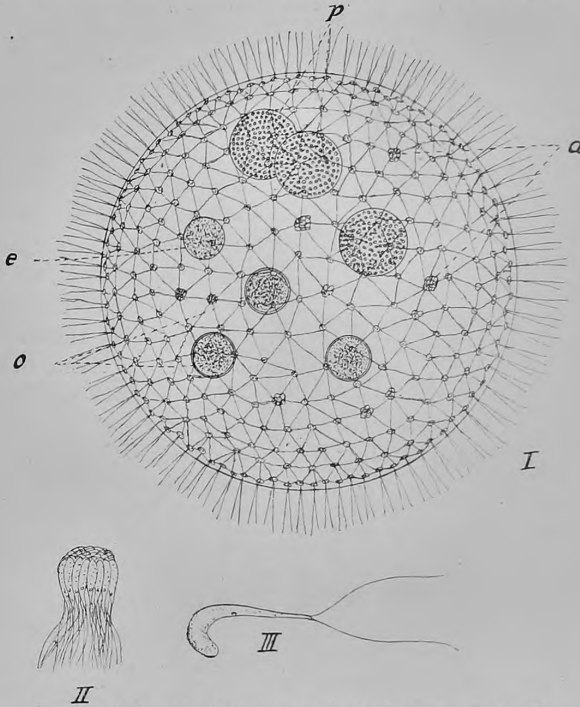


Fig. 5. *Volvox aureus*. I eine Volvoxkugel, in welcher sich befinden: *a* Antheridien resp. Spermatozoidenbündel, *e* Eizellen, *o* Oosporen (durch ihre dickere Membran kenntlich, durch Befruchtung aus den Eizellen entstanden) und *p* Parthenogonidien (ungeschlechtlich entstandene junge Volvoxkugeln, die schließlich die Mutterkugel an einem Pol verlassen; schwach vergrößert). II Spermatozoidenbündel, stärker vergrößert. III Spermatozoid, sehr stark vergrößert

schlechtliche Fortpflanzung vorkommt, so beginnt sie doch schon in dieser Gruppe zu verkümmern und so weit abzunehmen, daß oft kaum noch Anklänge daran vorhanden sind. Destomehr treten die verschiedenartigsten Formen der ungeschlechtlichen Fortpflanzung, oft mehrere bei ein und derselben Art, in den Vordergrund.

Das allmähliche Verschwinden der Sexualität kann man selbst bei den verschiedenen Arten einer Gattung wahrnehmen, z. B. bei *Saprolegnia*, Wasserpilzen, die in zahlreichen Arten an toten, ins Wasser gefallenem Insekten sich ansiedeln.

Bei einer *Saprolegnia* sind die Geschlechtsorgane als Oogonien und Anthe-

ridien entwickelt, sehr ähnlich denjenigen, wie sie bei der Algengattung *Vaucheria* auftreten. Die Oogonien sind rundliche, am Ende von Pilzfäden auftretende Zellen, in denen sich die Eizellen, meist mehrere, entwickeln. Die Antheridien

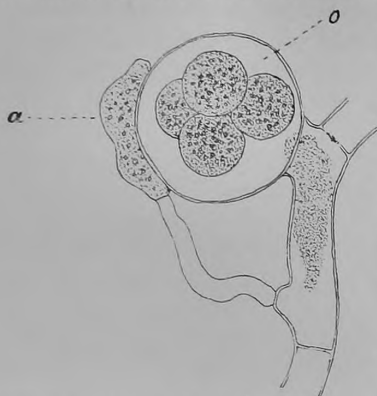


Fig. 6. *Saprolegnia Thuretii*. a Antheridium, o Oogonium vor der Befruchtung

sind schlauchförmige, meist unter den Oogonien hervorbrechende Zellen, welche sich dicht an die Oogonien anlegen und gewöhnlich Ausstülpungen, Befruchtungsschläuche an die Eizellen treiben. Ein merkbarer Übertritt von Stoffen findet zwar bei der Befruchtung nicht statt, nichtsdestoweniger darf angenommen werden, daß dennoch ein solcher Übertritt, oder doch eine gewisse Reizwirkung stattfindet. Diese Form der Entwicklung des Geschlechtsprozesses findet sich noch bei den meisten Saprolegniaceen.

Bei einem andern Teil der Arten, z. B. bei *Saprolegnia torulosa* kommt es zwar noch zur Anlage des Antheridiiums an das Oogonium, aber das erstere treibt keine Befruchtungsschläuche mehr an die Eizellen, dringt in das Oogonium überhaupt nicht mehr ein. Ja, bei dieser Art kommt es häufig vor, daß die Antheridien überhaupt nicht entwickelt werden. Bei einigen Arten schließlich, so bei *Saprolegnia monilifera* kommen überhaupt niemals

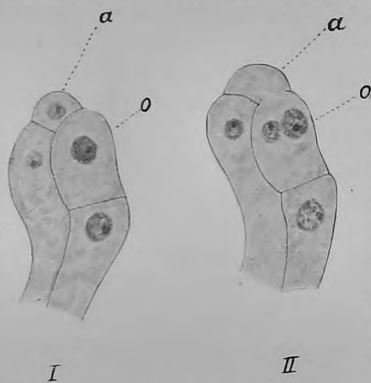


Fig. 7. Befruchtung von *Sphaerotheca Castagnei*. a Antheridienzelle, b Oogonienzelle. Bei I Antheridium noch nicht geöffnet, bei II geöffnet und Kern in die Oogoniumzelle übergetreten

Antheridien zur Entwicklung, dennoch entwickeln sich die Eizellen in derselben Weise, als wenn sie befruchtet werden. Hier ist also das allmähliche Übergehen der geschlechtlichen Fortpflanzung in eine ungeschlechtliche innerhalb einer Gattung zu beobachten.

Bei den höher entwickelten Pilzen, die man in Ascomyceten und Basidiomyceten teilt, tritt die geschlechtliche Fortpflanzung sehr zurück, bei den letzteren scheint sie überhaupt nicht mehr vorzukommen. Aber auch bei den Ascomyceten ist sie nur in wenigen Fällen mit Sicherheit nachgewiesen worden.

Die Ascomyceten besitzen neben einer Anzahl Nebenfruchtformen, bei denen die Sporen oder Conidien exogen, d. h. nicht im Innern einer Zelle, sondern als Abgliederungen eines Pilzfadens entstehen, eine Hauptfruchtform, bei welcher eine Anzahl, gewöhnlich 8 Sporen innerhalb eines Schlauches, Ascus, also endogen entstehen. Diese Ascosporenbildung läßt sich nun wenigstens bei einigen Ascomyceten auf einen geschlechtlichen Prozeß zurückführen; bei einem andern Teil der hierhergehörigen Arten wird eine eingehende

Untersuchung das vielleicht auch noch zutage fördern, bei dem größten Teil dagegen ist der eigentliche Geschlechtsprozeß verloren gegangen, in ähnlicher Weise, wie er bei den Saprolegniaceen allmählich zurückgebildet worden ist.

Zu den Ascomyceten gehören auch die Mehltaupilze, *Erysiphaceae*, welche auf den Blättern höherer Pflanzen schmarotzen und diese mit einem spinnwebartigen Mycel überziehen. An diesem Mycel entstehen kleine, punktförmige, geschlossene Fruchtkörper, die Perithechien, welche aus der Befruchtung eines Oogoniums durch ein Antheridium hervorgehen. Sie werden beide am Ende von Ästen der Pilzfäden als kurze Zellen durch eine Scheidewand von dem übrigen Mycel des Pilzes abgegrenzt, besitzen je einen Zellkern und legen sich so dicht nebeneinander, daß sie sich auf einer längeren Strecke berühren. Dann löst sich die Zellwand zwischen beiden an einem Punkte auf und der Zellkern des Antheridiums tritt in das Oogonium über.

Die nächste Folge dieser Befruchtung ist, daß aus der unter dem Oogonium befindlichen Zelle, der Stielzelle, eine Anzahl gegliederter Hüllfäden hervorsprossen, welche das Gehäuse des Fruchtkörpers bilden. Aus der befruchteten Oogonzelle gehen, je nach der Gattung ein oder mehrere Asci oder Schläuche hervor, in denen sich je 8 Ascosporen entwickeln.

Dieser Vorgang wird von vielen Forschern so gedeutet, daß dabei eine regelmäßige Aufeinanderfolge von geschlechtlicher und ungeschlechtlicher Fortpflanzung stattfindet, daß aber beide Generationen, die geschlechtliche und die ungeschlechtliche eng miteinander verbunden bleiben. Die geschlechtliche Generation würde die Pflanze mit dem Oogon und dem Antheridium sein, die ungeschlechtliche der aus der Befruchtung des Oogons hervorgehende Fruchtkörper mit den nicht durch eine Befruchtung erzeugten Ascosporen. Ähnliche, nur verwickeltere Verhältnisse finden sich bei den Rotalgen, worauf an dieser Stelle nur kurz hingewiesen sein mag, und bei den Archegoniaten, nur ist hier die Trennung in geschlechtliche und ungeschlechtliche Generation viel deutlicher ausgebildet.

Bei den höher entwickelten Ascomyceten geht der Geschlechtsprozeß wieder ganz verloren und bei den am höchsten stehenden Pilzen, den Basidiomyceten fehlt er vollkommen. Hier fehlen auch alle endogen entstandenen Sporen und es ist auch in der Hauptfruchtform, den Basidien eine Conidienbildung vorhanden.

Wenden wir uns wieder den Algen zu, so finden wir zunächst bei den Braunalgen oder *Phaeophyceen*, fast ausschließlich Meeresbewohnern, ähnliche Verhältnisse wie bei den Grünalgen, eine allmähliche Entwicklung der geschlechtlichen Fortpflanzung von den einfachsten bis zu hochentwickelten Formen. Ganz abweichend ist sie dagegen bei den Rhodophyceen oder Rotalgen, ebenfalls weit überwiegend Meeresbewohnern, bei denen bewegliche Geschlechtszellen überhaupt nicht vorkommen. Auch bei ihnen sind weibliche den Oogonien entsprechende, aber hier Carpogonien genannte Organe vorhanden, von flaschenförmiger Gestalt, welche in ihrem unteren angeschwollenen Teil die Eizelle tragen, während der oben verschmälerte, oft fadenförmige Teil, das Trichogyn dazu dient, die passiv durch das Wasser herangetriebenen männlichen Geschlechtszellen, die hier Spermastien heißen, festzuhalten. Die Spermastien sind kleine rundliche

Zellen, die am Ende von Fadenästen in einzelnen Antheridienzellen entstehen, keine Geißeln besitzen und passiv an das Trichogyn gelangen, hier festkleben und ihren Inhalt an das Carpogon abgeben.

Aus dem befruchteten Carpogon sprossen nun Äste hervor, die sich reich verzweigen und an ihren Enden Sporen (Carposporen) bilden. Gewöhnlich entwickeln sich aus den das Carpogon tragenden Zellen noch zahlreiche Hüllfäden, welche ebenso wie bei den Erysipheen einen geschlossenen Fruchtkörper um die Sporen bildenden Fäden hervorbringen, das Cystocarp. Überhaupt ist die Ähnlichkeit in dem Geschlechtsprozeß bei den Rotalgen und den Erysipheen unverkennbar, und man kann auch hier von einem regelmäßigen Wechsel zwischen geschlechtlicher Generation — Carpogon und Antheridien — und ungeschlecht-

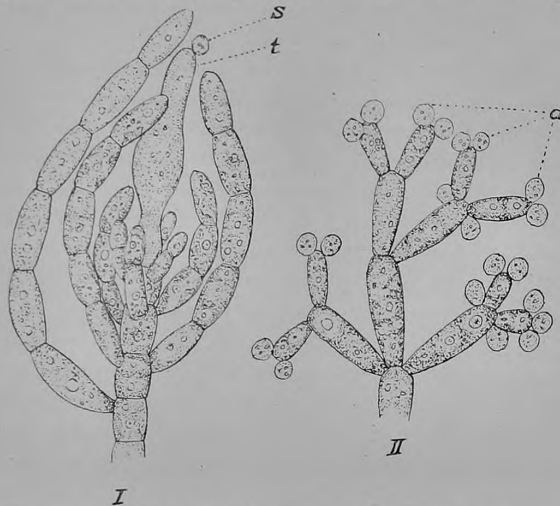


Fig. 8. *Batrachospermum*. I weiblicher Sproß mit Carpogon und Trichogyn *t*, an welchem ein Spermatorium *s* festgeklebt ist. II männlicher Sproß mit Antheridien *a*, aus denen durch Platzen der Membran je ein Spermatorium entsteht

licher — Cystocarp mit Carposporen — reden. Indessen bleiben auch hier beide Generationen organisch vereinigt und stellen eine einzige Pflanze dar.

Die Darstellung des Fortpflanzungsprozesses bei den Rhodophyceen bezieht sich auf eine der einfachsten Formen, wie wir sie beispielsweise bei dem im süßen Wasser vorkommenden *Batrachospermum vagum* finden. Im allgemeinen sind die Verhältnisse aber viel komplizierter und von einer überaus großen Mannigfaltigkeit, doch bleiben Carpogon mit Trichogyn und Spermarien überall die Grundlage des Geschlechtsprozesses. Daneben kommen in wechselnder Form noch ungeschlechtliche Fortpflanzung durch Tetrasporen vor, die zumeist in Vierzahl, oft wie die Ecken eines Tetraeders gelagert im Gewebe, zuweilen in besonderen Sporangien entstehen.

Abseits dieser besprochenen Algen steht eine Gruppe von Pflanzen, deren systematische Stellung seit jeher zweifelhaft ist, die Characeen oder Armleuchter-

gewächse. Ihr überaus regelmäßiger vegetativer Aufbau und die Art und Weise ihrer Fortpflanzung weichen ebensosehr von allen bekannten Algen, wie von denen der nächst höheren Pflanzen, den Moosen ab, so daß eine Stellung derselben zwischen Algen und Moosen durchaus gerechtfertigt erscheint. Nur in der Form der männlichen Geschlechtszellen, der Spermatozoiden stimmen sie mit den Moosen überein, dagegen ist wieder die Form des Antheridiums, in

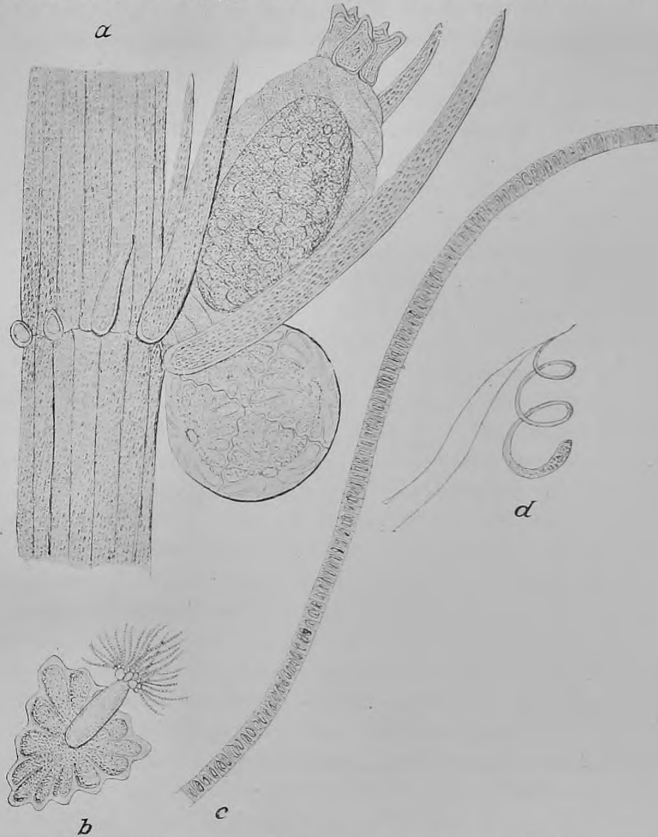


Fig 9. *Chara foetida*. a Blattknoten mit Oogonium und darunter stehendem Antheridium; b Klappe des Antheridiums mit von dem Griff ausgehenden spermatozoidtragenden Fäden; c ein solcher Faden bei stärkerer Vergrößerung; d ein Spermatozoid, sehr stark vergrößert

welchem die Spermatozoiden entstehen, völlig von dem der Moose verschieden und überhaupt mit keinem entsprechenden Organ anderer Pflanzen zu vergleichen.

Aus der keimenden Spore entwickelt sich zunächst ein einfacher gebauter Vorkeim, an welchem die eigentliche Pflanze entsteht. Dieselbe besteht aus einem oder mehreren Hauptstämmen, die wieder aus langen Internodialzellen und kurzen, isodiametrischen oder flach scheibenförmigen Knotenzellen abwechselnd zusammengesetzt sind. Die Internodialzellen, die zu den längsten und dick-

sten bekannten Zellen gehören und oft viele Zentimeter lang und bis zwei Millimeter breit werden können, erfahren keine weiteren Teilungen mehr. Die Knotenzellen dagegen teilen sich noch mehrfach und bilden den Ausgangspunkt verschiedenartiger Bildungen, vor allem der quirlig gestellten, als Blätter bezeichneten Kurztriebe, und der eigentümlichen Stengelberindung, die bei vielen Arten vorhanden ist und die Internodialzellen mit einer Schicht feiner Röhren umhüllt. An den Blättern kommt es zur Bildung von einfacher gebauten Blättchen und von Geschlechtsorganen, Oogonien, hier meist Sporenknöspchen genannt und Antheridien.

Die Oogonien bestehen ihrer Anlage nach aus einer Eizelle, welche von fünf schraubig um dieselbe herumwachsenden Hüllzellen umgeben wird; die Hüllzellen selbst tragen am Scheitel ein fünf- oder zehnzelliges Krönchen. Die Antheridien sind kugelig und bestehen aus acht klappenförmig ineinandergreifenden Oktanten, die wie ein Schild aussehen, und in der Mitte nach innen zu eine stielförmige Verlängerung tragen, an welcher zahlreiche dünne lange, gewundene Fäden festsitzen. Diese Fäden sind in sehr zahlreiche, flach scheibenförmige Zellen geteilt, in deren jeder sich ein Spermatozoid befindet. Die Spermatozoiden sind spiralig-schraubig gewunden, mit schmalere Vorderende und dickerem Hinterende und tragen an ersterem zwei lange Geißeln. Sie dringen bei der Befruchtung durch die Lücken des Krönchens in das Oogonium ein und befruchten die Eizelle, welche sich darauf mit einer harten, holartigen und meist dunkel gefärbten Membran umgibt und zur Spore wird. Neben dieser hochentwickelten Form der geschlechtlichen Fortpflanzung kommt eine ungeschlechtliche Fortpflanzung bei den Characeen überhaupt nicht vor; nur eine vegetative Vermehrung durch ausläuferartige Bildungen ist vorhanden.

Viel gleichförmiger als bei den Algen verläuft der Fortpflanzungsprozeß bei den Moosen und Farnen, die hierin soviel Übereinstimmung zeigen, daß man sie als Archegoniaten zusammengefaßt hat. Außer der charakteristischen Gestalt des weiblichen Geschlechtsorgans, welches hier Archegonium genannt wird und dem Oogonium der Algen entspricht, ist der vollkommen gesetzmäßige Wechsel zwischen geschlechtlicher und ungeschlechtlicher Generation für die ganze Gruppe der Archegoniaten charakteristisch.

Die Moose selbst gliedern sich wieder in Leber- und Laubmoose, doch ist der Unterschied im Geschlechtsprozeß zwischen beiden nicht wesentlich. Bei einer beblätterten Moospflanze stehen die Geschlechtsorgane, Archegonien und Antheridien entweder zusammen oder getrennt, selbst auf verschiedene Pflanzen verteilt, meist am Scheitel der Stämmchen oder kurzer Seitenzweige, von mehr oder weniger abweichend gestalteten Blättern umgeben und bilden mit diesen zusammen die bei manchen Moosen schon äußerlich auffallende Moosblüte. Die Archegonien sind flaschenförmige Organe mit bauchig aufgeschwollenem unteren Teil und verschmälertem langem Halsteil. Die Wandlung des Archegons ist einschichtig und besteht aus tafelförmigen, lückenlos aneinanderschließenden Zellen. In dem angeschwollenen Bauchteil liegt die Eizelle, darüber, beim Übergang in den Hals die Bauchkanalzelle und im Halsteil die Halskanal-

zellen. Diese letzteren sowie die Bauchkanalzelle verschleimen zur Zeit der Empfängnisfähigkeit der Eizelle, der Schleim dringt aus dem sich oben öffnenden Archegoniumhals hervor und löst sich oben in dem auf die Blüte gefallenen Tau- oder Regentropfen. Er enthält Stoffe, die auf die Spermatozoiden anlockend wirken, und zwar bei den Moosen Rohrzucker. Die Spermatozoiden entstehen in den keulenförmigen oder länglich eirunden Antheridien, haben dieselbe

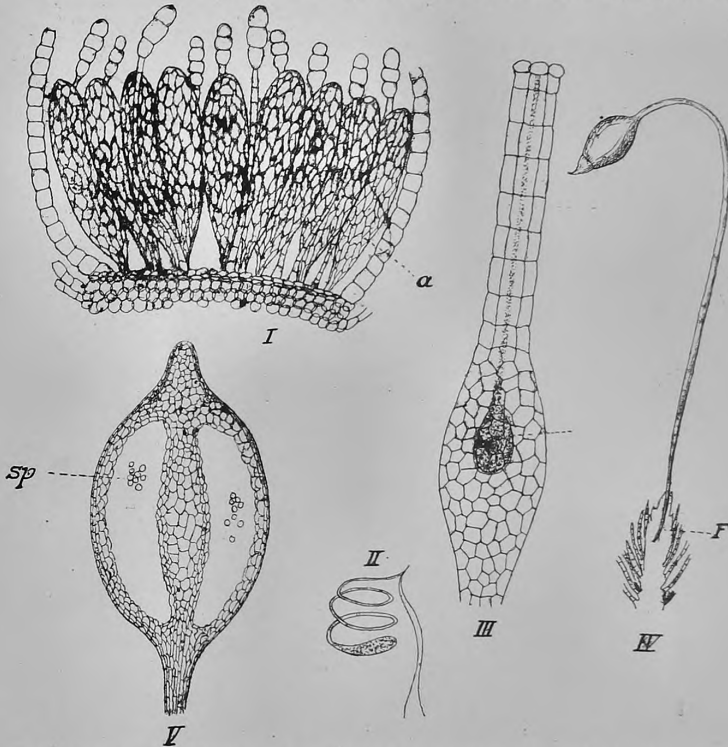


Fig. 10. Fortpflanzung bei Moosen. I männliche Blüte mit zahlreichen Antheridien *a* und dazwischenstehenden Saffthaaren. II Spermatozoid, stark vergrößert. III Archegonium mit Eizelle *e*, aus welcher nach der Befruchtung Kapsel mit Stiel (IV) hervorgeht, die mit dem Fuß *F* in die Moospflanze eingesenkt bleibt. V Längsschnitt durch eine junge Kapsel, die den Sporenraum mit einigen Sporen *sp* zeigt

Gestalt, wie oben bei den Characeen angegeben, schwimmen nach den Archegonien, dringen durch den Hals bis zur Eizelle vor und befruchten dieselbe, indem sie mit ihr verschmelzen.

Aus der so befruchteten Eizelle entsteht nun durch wiederholte Teilungen ein Gewebekomplex, aus dem sich die zweite oder ungeschlechtliche Generation, die Mooskapsel, entwickelt. Sie ist zwar noch ziemlich eng mit der ersten oder geschlechtlichen Generation verbunden, aber ein eigentlicher organischer Zusammenhang zwischen beiden ist doch nicht mehr vorhanden; sie ist

vielmehr mit einem fußartigen Fortsatz in das Gewebe der eigentlichen Moospflanze eingesenkt und wird auch von dieser noch wie ein Parasit ernährt. Man bemerkt an ihr gewöhnlich außer der eigentlichen Mooskapsel noch den Stiel (Seta) und die Haube (Calyptra); letztere entsteht aus der Wandung des Archegons und wird, wenn sich der Stiel zu strecken beginnt, am Grunde mit abgerissen. Bei den

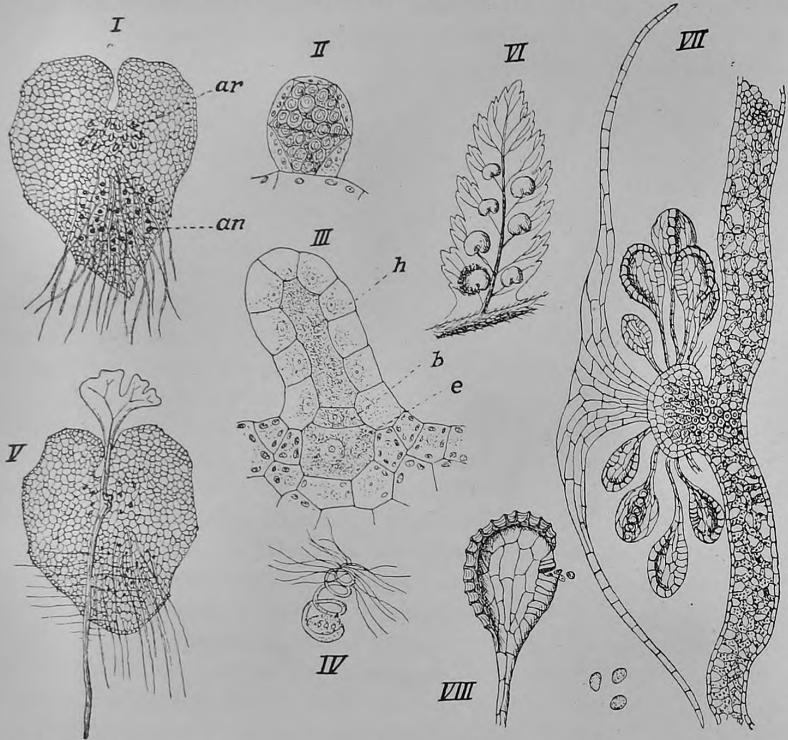


Fig. 11. Fortpflanzung bei *Aspidium filix mas*. I Geschlechtliche Pflanze, Prothallium; an Antheridien; ar Archegonien, schwach vergrößert. II Einzelnes Antheridium von der Seite, stärker vergrößert. III Archegonium von der Seite, stärker vergrößert: h Halskanalzellen; b Bauchkanalzelle; e Eizelle. IV Spermatozoid, sehr stark vergrößert. V Prothallium mit der aus der befruchteten Eizelle hervorgegangenen jungen Farnpflanze (ungeschlechtliche Generation). VI Fertiles Fiedlerchen eines Farnwedels mit 7 Gruppen von Sporangien. VII Sporangiengruppe (Sorus) im Durchschnitt. VIII Einzelnes sich öffnendes und Sporen entlassendes Sporangium, rechts davon einige stärker vergrößerte Sporen

Lebermoosen wird die Calyptra am Scheitel durchstoßen und bleibt am Grunde zurück, während sie bei den weitaus meisten Laubmoosen als Mütze die junge Kapsel bedeckt und mit emporgehoben wird.

In der Mooskapsel entstehen nun gewöhnlich sehr zahlreiche kleine, rundliche Zellen, die Sporen, auf ungeschlechtlichem Wege, indem sich ein Teil der Zellen durch Vierteilung in kleine, fast kubische Zellen verwandelt, die sich allmählich abrunden und mit derber Membran umgeben. Aus diesen Sporen geht

zunächst ein einfach gebauter Vorkeim hervor, an dem sich Knospen bilden, die wieder zu den beblätterten Moospflanzen auswachsen und Geschlechtsorgane tragen.

Bei den Moosen und ebenso bei den Farnen ist der Wechsel zwischen geschlechtlicher und ungeschlechtlicher Fortpflanzung ein absolut regelmäßiger; es ist unmöglich, daß einmal zwei geschlechtliche oder zwei ungeschlechtliche Generationen aufeinander folgen können, stets folgt auf eine geschlechtliche eine ungeschlechtliche und auf diese wieder eine geschlechtliche Generation.

Aber während bei den Moosen die geschlechtliche Generation durch die eigentliche Moospflanze, die ungeschlechtliche durch die kleine Kapsel repräsentiert wird, ist bei den Farnen die Geschlechtspflanze ein unscheinbares, gar nicht in die Augen fallendes Gebilde, während die eigentliche Farnpflanze die ungeschlechtliche Generation darstellt, und je höher entwickelt die Farne sind, um so mehr reduziert wird die Geschlechtspflanze, bis sie schließlich nur noch aus wenigen Zellen besteht.

Die Farne im weitesten Sinne umfassen von den lebenden Pflanzen Farnkräuter, Schachtelhalme und Bärlappgewächse; dazu kommen noch eine Anzahl Gruppen gewaltiger Gewächse, die früheren Perioden der Erdgeschichte, besonders der Steinkohlenzeit angehört haben und keine noch lebenden Vertreter besitzen. In jeder der drei Gruppen wiederholt sich, wenn wir die untergegangenen mit in den Kreis unserer Betrachtung ziehen, eine ähnliche Entwicklung; wir wollen sie an den eigentlichen Farnen verfolgen.

Diese gliedern sich in Farnkräuter und Wasserfarne, die sich dadurch unterscheiden, daß die ersteren nur eine Form der Sporen, letztere zweierlei, große und kleine Sporen ausbilden, wonach man jene *Isosporae*, letztere *Heterosporae* genannt hat.

Der gewöhnliche Wurmfarne, *Aspidium filix mas*, ist eines unserer häufigsten Farnkräuter. Aus der Spore geht ein kleines unscheinbares, lebermoos-ähnliches, an der einen Seite herzförmiges, nach der andern etwas zugespitztes Gebilde von wenigen Millimetern Durchmesser hervor, welches auf der Unterseite, nahe der rippenartigen mittleren Verdickung Antheridien und Archegonien trägt. Diese haben im wesentlichen denselben Bau, wie bei den Moosen, nur ist der Hals der Archegonien kürzer und die Antheridien sind mehr rundlich bis halbkugelig. Auch die Spermatozoiden sind etwas anders, sie sind gedrungener, mehr schneckenförmig und mit einem Kranz von Wimpern auf den oberen Windungen. Die Befruchtung vollzieht sich aber in ähnlicher Weise wie bei den Moosen durch Eindringen eines Spermatozoids in das Archegon und Verschmelzen mit der Eizelle.

Aus der befruchteten Eizelle geht nun die eigentliche Farnpflanze hervor, die wieder auf der Unterseite der Blätter in mannigfaltiger Anordnung kleine, gewöhnlich in Gruppen (*Sori*) zusammenstehende Behälter, die Sporangien entwickelt, in denen sich die ungeschlechtlich erzeugten Sporen bilden. Aus den Sporen entwickelt sich dann wieder die geschlechtliche, bei den Farnen als *Prothallium* bezeichnete Pflanze.

Wählen wir als Gegensatz eine der am höchsten entwickelten Farnformen, *Salvinia natans*, so finden wir ein auf dem Wasser schwimmendes Pflanz-

chen mit zweizeilig gestellten, etwas an ein Akazienblatt erinnernden Blättchen, welches nach unten, also in das Wasser, eine Anzahl feiner Fäden, anscheinend Wurzeln, entsendet. Es sind aber keine Wurzeln, sondern die feinzerteilten Abschnitte von Blättern, die völlig von den Schwimmblättern verschieden und außerdem noch fein behaart sind, ähnlich wie die Wurzeln von manchen Wasserpflanzen, z. B. *Hydrocharis*. Am Grunde dieser untergetauchten zerschlitzten Blätter sitzen kleine, ungefähr kugelige Gebilde, die als Sporangien bezeichnet

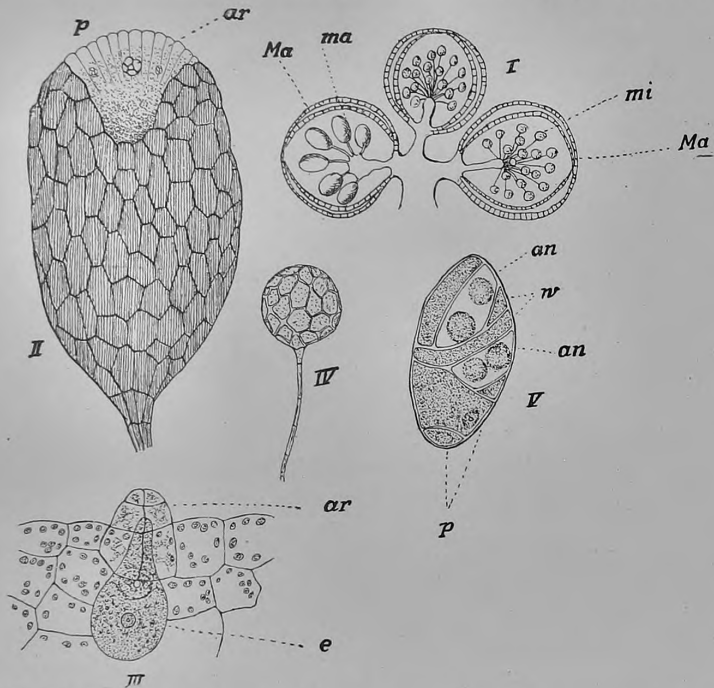


Fig. 12. Fortpflanzung bei *Salvinia natans*. I Sporokarpienstand: *Ma* Makrosporokarpium mit Makrosporangien *ma*; *mi* Mikrosporokarpium mit Mikrosporangien *mi*. II Makrosporangium mit keimender Makrospore, deren Prothallium *p* aus dem Makrosporangium hervorbricht und Archegonien *ar* entwickelt. III Einzelnes Archegonium mit Eizelle *e*. IV Mikrosporangium. V Keimende Mikrospore: *p* Prothalliumzellen; *an* Antheridium mit Spermatozoiden; *w* Antheridienwandzellen

werden und in ihrem Innern, von einem säulenartigen Vorsprung ausgehend, die Sporangien tragen, und zwar eine kleinere Anzahl größere — Makrosporangien — oder eine größere Anzahl kleinere — Mikrosporangien.

In den Makrosporangien entwickelt sich nur eine einzige große Makrospore, welche mitsamt dem Sporangium sich von der Mutterpflanze löst und sich zu einem weiblichen, aber bereits sehr einfachen Prothallium entwickelt. Dies geschieht in der Weise, daß sich an dem einen Pol Sporangienwand und Sporenmembran mit drei Rissen öffnet, und hier ein kleines, grünes Zellgewebe hervortritt, in welchem drei Archegonien angelegt werden.

Die Mikrosporangien enthalten eine größere Anzahl kleiner Mikrosporen, die innerhalb des Sporangiums keimen, aber nur noch ein ganz wenigzelliges Gebilde, das die Antheridien tragende, männliche Prothallium, entwickeln. Dieses durchbricht die Sporangienmembran und entleert seine Spermatozoiden nach außen, welche dann an die weiblichen Prothallien — Makrosporangien heranschwimmen, in die Archegonien eindringen und mit der Eizelle verschmelzen.

Das weibliche Prothallium ist also hier bereits auf ein wenigzelliges Gewebe reduziert, welches aber immer noch grün ist und aus der Spore hervortritt. Das männliche Prothallium besteht aber, abgesehen von den das Antheridium bildenden Zellen, überhaupt nur noch aus zwei Zellen und tritt nicht mehr aus dem Mikrosporangium hervor, nur das Antheridium bricht noch durch. Die Reduktion der geschlechtlichen Pflanze ist also hier schon sehr weit gediehen.

Ähnlich wie bei den eigentlichen Farnen ist nun auch bei den beiden andern Gruppen eine analoge Entwicklung zu erkennen. Bei den Schachtelhalmen ist die heterospore Reihe, die Calamarien, ausgestorben, und nur die isospore ist noch in einer einzigen Gattung, *Equisetum*, erhalten geblieben. Bei den Bärlappgewächsen sind aber noch beide Reihen erhalten und namentlich die heterospore Reihe hat in der artenreichen Gattung *Selaginella* eine ziemliche Anzahl Vertreter in der Gegenwart. Bei uns kommen allerdings nur zwei kleine zarte Arten, *Selaginella spinulosa* und *helvetica* vor, in den Tropen dagegen zahlreiche und oft erheblich kräftigere Formen.

Die Sporangien stehen hier in den Achseln von Blättern in einer endständigen Ähre, die sich gewöhnlich deutlich von den nicht sporentragenden Teilen des Stengels unterscheidet. Über jedem Blatt steht nur ein einziges Sporangium und zwar entweder ein Makrosporangium oder ein Mikrosporangium. Erstere stehen unten und sind der Zahl nach geringer, letztere oben an der Ähre und meist in größerer Zahl. Die Makrosporangien sind kugelig, enthalten vier große Makrosporen und öffnen sich bei der Reife mit mehreren Klappen. Die Mikrosporangien dagegen sind mehr flachgedrückt, öffnen sich bei der Reife zweiklappig und enthalten zahlreiche Mikrosporen.

Wie bei *Salvinia* geht aus der Makrospore ein weibliches, nur Archegonien tragendes, aus der Mikrospore ein männliches, nur Antheridien tragendes Prothallium hervor, beide sehr klein und reduziert.

Die Entwicklung der Makrospore ist hier von besonderem Interesse, weil, wie wir später sehen werden, manche Vorgänge bei den Blütenpflanzen ganz ähnlich verlaufen. Die Makrospore besitzt einen Zellkern am Scheitel, der sich, oft wenn die Spore noch von dem Sporangium umschlossen ist, zu teilen beginnt, wodurch vom Scheitel nach der Basis zu immer mehr Zellkerne entstehen. Diese Zellkerne sind ursprünglich nicht durch Scheidewände getrennt; erst später entstehen solche zwischen den Kernen und zwar ebenfalls vom Scheitel nach der Basis fortschreitend. Die ganze Spore füllt sich allmählich durch diesen Vorgang, den man als Vielzellbildung bezeichnet, mit einem Gewebe aus, welches das weibliche Prothallium darstellt. Am Scheitel, wo die Sporenmembran später aufplatzt und das Prothallium vertreten läßt, ist das Gewebe klein-

zelliger, und hier werden auch einige, in das Gewebe eingesenkte Archegonien angelegt.

Ist bei den Makrosporen die Entwicklung des Prothalliums noch ziemlich bedeutend, so ist es bei den Mikrosporen der Selaginellen dagegen auf eine einzige Zelle reduziert, während die andern sich entwickelnden Zellen das einzige Antheridium darstellen. Die Entwicklung der Mikrospore beginnt schon innerhalb des Mikrosporangiums damit, daß zuerst eine kleine linsenförmige Zelle abgeschnitten wird, die die einzige Prothalliumzelle repräsentiert. Von der andern größeren Zelle werden noch acht, die Wandung des Antheridiums darstellende periphere Zellen abgeschnitten, während sich der übrigbleibende mittlere Teil in zwei bis vier Zellen teilt, aus denen dann die Spermatozoiden hervorgehen, welche schmal keulenförmige Gestalt zeigen und zwei lange Geißeln besitzen. Erst wenn diese ausgebildet sind, bricht die Wand der Mikrospore auf, und die Spermatozoiden treten hervor, um die Befruchtung der Eizellen in den Archegonien herbeizuführen. Die geschlechtliche Generation ist hier also bereits sehr stark reduziert, bei der männlichen Pflanze bis auf eine einzige Zelle, abgesehen von dem Geschlechtsorgane selbst; immer aber ist noch der Charakter des Generationswechsels deutlich ausgesprochen. Die Sporen, auch die Makrosporen, aus denen die weibliche Pflanze hervorgeht, lösen sich noch vollständig aus dem Verbande der Mutterpflanze los und führen ein selbständiges Dasein. Ferner besitzen die männlichen Geschlechtszellen Eigenbewegung und dringen aktiv in das Archegonium ein und bis an die Eizelle vor; die Vereinigung der beiden Geschlechtszellen ist also nicht von andern mechanisch wirkenden Kräften abhängig, wie dies bei den nun zu behandelnden Blütenpflanzen der Fall ist.

Bei den Blütenpflanzen oder Phanerogamen ist die geschlechtliche Fortpflanzung scheinbar in ganz anderer Form ausgebildet als bei den Kryptogamen. Alle dabei beteiligten Teile der Pflanze treten zu der Blüte zusammen, die freilich in ihrer höchsten Ausbildung eine so auffallende Erscheinung darstellt, daß der Unterschied gegenüber den Kryptogamen ohne weiteres in die Augen springt. Aber ganz abgesehen davon, daß wir bei der Vergleichung der Pflanzengruppen nicht bloß die unterscheidenden, sondern auch die übereinstimmenden und verbindenden Merkmale zu berücksichtigen haben, sind auch die Blüten erst aus einer allmählichen Entwicklung bis zu der Vollendung gediehen, wie sie die höchststehenden Formen zeigen. Die tieferstehenden zeigen sehr viel einfacheren Bau, und je mehr wir uns den am tiefsten stehenden Blütenpflanzen nähern, desto ähnlicher werden vielfach die Verhältnisse denen bei den höchstentwickelten Kryptogamen.

Es ist bekannt, daß man die Phanerogamen in Gymnospermen und Angiospermen einteilt; bei den ersteren stehen die Samenanlagen frei auf einem Fruchtblatt, bei den letzteren wachsen die Fruchtblätter zu einem um die Samen geschlossenen Fruchtknoten zusammen.

Eine Samenanlage ist ein verhältnismäßig kompliziert gebautes Organ; untersuchen wir ein solches etwa von der Fichte, *Picea vulgaris*, in einem zarten Längsschnitt, so finden wir einen mittleren Körper, von dem sich in der oberen

Hälfte beiderseits ein längerer Fortsatz abhebt. Diese Fortsätze bilden an der unverletzten Samenknope eine geschlossene Hülle, das Integument, welches nur an der Spitze eine Öffnung, die Mikropyle, besitzt. Der freie mittlere Teil ist der Knospenkern, Nucellus, an dessen Spitze eine kleine Erhöhung, die Knospenwarze, liegt und der am Grunde den Embryosack umschließt. Dieser letztere ist ein mit plasmareichen Zellen erfüllter Hohlraum im Gewebe des Knospenkerns; er trägt in seiner oberen Hälfte einige Archegonien, die noch lebhaft an die

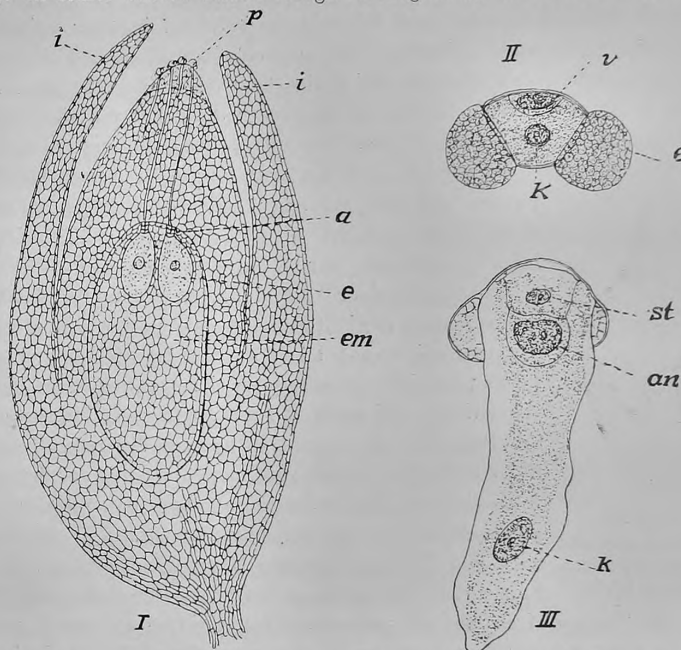


Fig. 13. Fortpflanzung bei den Gymnospermen. I Samenanlage der Fichte im Längsschnitt. II Pollenkorn der Kiefer. III Keimendes Pollenkorn der Kiefer: *a* Archegonium; *an* Antheridiummutterzelle; *e* Eizelle; *em* Embryosack; *i* Integument; *k* Pollenschlauchkern; *l* Luftsäcke; *p* keimende Pollenkörner, von denen zwei ihre Schläuche bis an den Halsteil der Archegonien getrieben haben; *st* sterile Antheridiumzelle; *v* die kleine schon vor dem Austreiben des Pollenschlauches im Pollenkorn sichtbare Zelle

Archegonien der Archegoniaten erinnern, und einen aufgeblasenen, von der Eizelle ganz erfüllten Bauchteil und einen mehrzelligen Halsteil besitzen. Der Bauchteil besitzt noch eine Hülle von flachen Zellen, wie sie ganz ähnlich auch bei den Pteridophyten vorhanden sind. Der Embryosack selbst entspricht mit seinem Gewebe dem weiblichen Prothallium, in welchem hier wie bei den heterosporen Pteridophyten an der Oberseite die Archegonien angelegt sind. Die ganze Samenanlage stellt das Makrosporangium der Phanerogamen dar.

Wenn bis hierher zwischen den höchstentwickelten Pteridophyten und den niedersten Phanerogamen noch eine große Übereinstimmung herrscht, so tritt jetzt eine wesentliche Abweichung im weiteren Entwicklungsprozeß der geschlecht-

lichen Generation ein. Die Makrospore bleibt nicht nur dauernd in dem Makrosporangium (= Samenanlage) eingeschlossen, sondern auch noch lange nach der Befruchtung mit der Mutterpflanze, die der ungeschlechtlichen Generation der Farne entspricht, verbunden. Die weibliche Geschlechtspflanze hat ihre Selbstständigkeit aufgegeben und verschmilzt mit der ungeschlechtlichen Generation zu einem Individuum, indem sie gewissermaßen die Geschlechtsorgane auf diese überträgt.

Auch die Mikrosporangien und Mikrosporen erfahren in ihrer weiteren Entwicklung eine bedeutende Änderung. Den ersteren entsprechen die Pollensäcke bei den Phanerogamen, den letzteren der Blütenstaub oder die Pollenkörner. Schon vor dem Ausstäuben bilden in den Pollenkörnern die Coniferen einige niedrige, in das Innere des Pollenkorns hineinragende Zellen, die einem reduzierten Prothallium entsprechen, wie ja auch bei den Mikrosporen mancher Pteridophyten nur ein aus einer Zelle bestehendes, rudimentäres Prothallium gebildet wird. Bei *Picea vulgaris* ist sogar beim Ausstäuben nur noch eine einzige Prothalliumzelle vorhanden. Zu einer Ausbildung von Wandzellen des Antheridiums kommt es nicht mehr, ebensowenig, wie im allgemeinen Spermatozoiden entwickelt werden. Der Zellkern des Pollenkorns teilt sich vielmehr in zwei generative Kerne und einen vegetativen, und wenn es zur Keimung der Mikrospore bzw. des Pollenkorns kommt, so nehmen die generativen Kerne nicht mehr die Gestalt von Spermatozoiden an, die aus dem Antheridium ausschwärmen, sondern die Intine, d. h. die innere Membran des Pollenkorns, wächst in der Richtung nach den Eizellen zu einem langen Schlauch aus, an dessen Spitze sich die Zellkerne befinden. Der Pollenschlauch legt sich an den Eiapparat an und ein generativer Zellkern tritt aus dem Schlauch in die Eizelle über, um mit dem Kern der Eizelle zu verschmelzen und hierdurch die Befruchtung zu vollziehen. Nur bei einigen wenigen Gymnospermen, so bei *Ginkgo biloba* und *Zamia integrifolia*, nehmen die an der Spitze des Pollenschlauches liegenden Zellkerne noch die Gestalt von schneckenförmig gewundenen Spermatozoiden mit Wimperkränzen an, so recht deutlich ein Bindeglied zwischen den frei beweglichen Spermatozoiden der Pteridophyten und den passiv zur Eizelle hingeführten generativen Zellkernen der Phanerogamen bildend.



Fig. 14. Pollenschlauchende mit den beiden Spermatozoiden von *Ginkgo biloba*

Solange eine Loslösung der Makro- und Mikrosporen von der ungeschlechtlichen Generation und die Bildung kleiner Geschlechtspflanzen auf dem Boden erfolgt, kann, bei Regenwetter etwa, der kleine Raum von dem männlichen Prothallium bis zu dem weiblichen von den Spermatozoiden durchschwommen werden; denn die Spermatozoiden sind nur für die Bewegung in Wasser eingerichtet. Löst sich aber die Makrospore von der ungeschlechtlichen Generation nicht mehr los, und entwickelt sie die Geschlechtsorgane an den oft hohen Pflanzen, so werden die Schwierigkeiten für die Spermatozoiden, an die Eizelle zu gelangen, unüberwindlich, wenn nicht die Mikrosporen überhaupt in unmittel-

bare Nähe der keimenden Makrosporen gelangen. Deshalb haben sich bei den Phanerogamen besondere Einrichtungen, und zwar in erstaunlicher Mannigfaltigkeit entwickelt, um die Übertragung des Blütenstaubes an geeignete Stellen in der unmittelbaren Nähe der Samenanlagen zu ermöglichen.

Auch hier würde ja eine Bewegung der männlichen Geschlechtszelle bis zu der weiblichen Eizelle noch nötig sein, selbst wenn das Pollenkorn in der Nähe der Eizelle keimt, und die Entfernung würde durch Eigenbewegung schwärmender Spermatozoiden zurückgelegt werden können. Dazu würde aber ebenfalls Flüssigkeit, also etwa Regen, notwendig sein, und Regenwetter ist, wie wir später sehen werden, den Faktoren, welche die Übertragung des Pollens oft von weither bewirken, direkt ungünstig, so daß die Übertragung in vielen Fällen ausbleiben würde. Die Spermatozoidenbefruchtung verträgt sich also nicht mit der Pollenübertragung, wohl aber die Bildung von Schläuchen, welche die männlichen Zellen aus dem Pollenkorn durch Wachstum des Schlauches bis an die Eizellen führen. Die allmähliche Umbildung der Spermatozoidenbefruchtung in die Befruchtung durch bewegungslose Geschlechtszellen, die passiv durch Wachstum an die Eizelle herangeführt werden, sehen wir deutlich bei *Ginkgo* und *Zamia*, bei denen die Geschlechtszellen in den wachsenden Pollenschlauch noch die Gestalt von Spermatozoiden annehmen.

Ist der Zusammenhang der geschlechtlichen Fortpflanzung bei Gymnospermen und Pteridophyten in einzelnen Punkten noch völlig erkennbar, so verschwindet die Ähnlichkeit zwischen den Archegoniaten und Angiospermen schon sehr viel mehr und würde ohne die Mittelstellung, welche die Gymnospermen einnehmen, kaum mehr erkennbar sein. Die Samenanlagen, also die den Makrosporen entsprechenden Organe, sind bei den Angiospermen in einen von den Fruchtblättern gebildeten, rings geschlossenen Fruchtknoten eingeschlossen und würden beweglichen Spermatozoiden überhaupt nicht zugänglich sein. Aber der obere Teil der

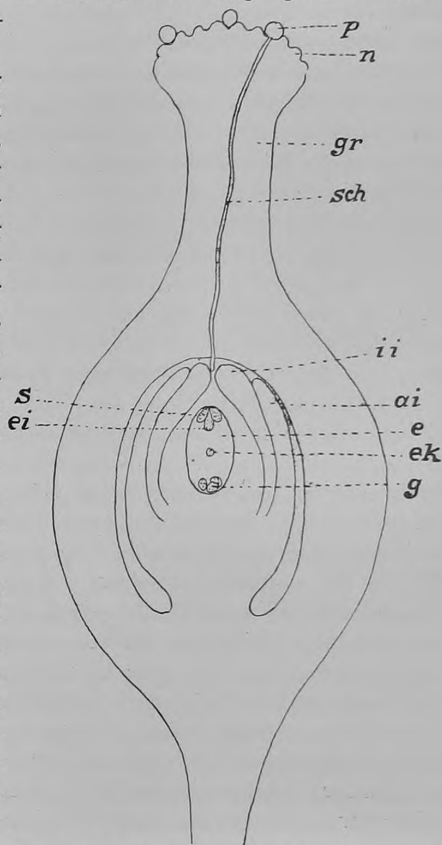


Fig. 15. Querschnitt durch den Fruchtknoten einer angiospermen Blüte. *e* Embryosack; *ei* Eizelle; *ek* Embryosackkern; *s* Synergiden; *g* Gegenfüßlerinnen; *ii* inneres; *a* äußeres Integument; *p* Pollenkorn mit Keimschlauch *sch*; *n* Narbe; *gr* Griffel

Fruchtblätter ist zu einem besonders für die Pollenkörner eingerichteten Aufnahmeorgan, zur Narbe, umgestaltet, und nur die Pollenkörner, die auf die Narbe gelangen, kommen zur Keimung und eventuell zur Befruchtung der Samenanlagen. Sie müssen ihren Pollenschlauch durch das Narbengewebe und den oft sehr langen stielförmigen Träger der Narbe, den Griffel, hindurch bis in den Fruchtknoten hineintreiben und sich durch die meist von zwei Integumenten umgebene Mikrophyle hindurch zum Knospenkern und Embryosack winden. Der Embryosack ist hier ein plasmareicher Hohlraum, in welchem zunächst kein Zellgewebe an das Prothallium der Makrosporen erinnert und keine Archegonien ausgebildet sind. Dagegen finden sich an jedem Pol desselben je drei nackte, d. h. von keiner Membran umhüllte Zellen. Von den drei oberen ist eines die Eizelle, während man die beiden daneben liegenden die Gehilfinnen genannt hat (Synergiden): sie gehen zugrunde, wenn die Befruchtung vollzogen ist, d. h. wenn sich einer der generativen Kerne des Pollenschlauches mit dem Kern der Eizelle vereinigt hat. Die drei unteren stellen die Antipoden oder Gegenfüßlerinnen dar und sind wohl als die letzten Reste einer Prothalliumbildung aufzufassen.

Erst nach der Befruchtung der Eizelle findet auch im Embryosack eine Zellbildung statt, aus welchem das Endosperm hervorgeht, und zwar in der Weise, daß sich zuerst der Zellkern durch wiederholte Zweiteilung bis zu einer großen Zahl vermehrt, und sich erst später zwischen den Kernen die Membranen bilden (Vielzellbildung). Hier ist also weder die Anlage von Archegonien noch die Entwicklung eines dem Prothallium vergleichbaren Gewebes im Embryosack zur Zeit der Befruchtung vorhanden.

Aus der befruchteten Eizelle geht nun die junge Pflanze, der Embryo, hervor, und auch hier ist insofern ein wesentlicher Unterschied zwischen Archegoniaten und Phanerogamen vorhanden, als bei den ersteren die Entwicklung ohne Unterbrechung stattfindet, während bei den letzteren die Entwicklung des Embryos nur bis zur ersten Ausbildung der Organe der Keimpflanze vor sich geht und dann eine Ruheperiode eintritt, während welcher sich der Embryo mit einer Anzahl ihn umgebender Gewebeschichten als Samen von der Mutterpflanze löst.

Der Samen ist also morphologisch eine den Phanerogamen eigentümliche Bildung, die nicht mit den Sporen der Archegoniaten verglichen werden kann. Die Sporen entsprechen vielmehr, wie erwähnt, den Pollenkörnern und Embryosäcken; dem Samen würde höchstens ein jugendliches Entwicklungsstadium der ungeschlechtlichen Farnpflanze entsprechen, da aber bei dieser kein Dauerzustand nach einer kurzen Entwicklung eintritt, so liegt in der Bildung der Samen eben ein Charakteristikum der Phanerogamen gegenüber den Archegoniaten.

Kann man nun zwar keinen lückenlosen Zusammenhang zwischen den Erscheinungen der Fortpflanzung bei den verschiedenen Gruppen der jetzt lebenden Pflanzen feststellen, so sind doch meist überall Zwischenglieder vorhanden, welche hinreichen, den Weg, den die Entwicklung der Fortpflanzung genommen hat, zu erkennen. Die außerordentlich große Zahl ausgestorbener Arten, Familien und ganzer Klassen läßt uns ja erkennen, daß wir von der Gesamtheit der Pflanzenwelt, die auf der Erde sich entwickelt hat, in der Gegenwart nur Bruchstücke

vor Augen haben; von den niederen Pflanzenformen sind uns im allgemeinen überhaupt keine deutlich erkennbaren und für die Entwicklungsgeschichte verwertbaren Reste erhalten geblieben. Aber auch selbst von den großen und relativ gut erhaltenen Pflanzen der Vorwelt sind uns die Einzelheiten in bezug auf die Fortpflanzungsverhältnisse verschleiert. Gerade die zahlreichen ausgestorbenen Gruppen an der oberen Grenze der Archegoniaten und an der unteren der Phanerogamen, die in der Steinkohlenzeit und den darauffolgenden Perioden ihre Hauptentwicklung hatten, die Lepidodendren, Sigillarien, Calamarien, Cordaiten u. a., lassen von ihren Fortpflanzungsverhältnissen nur so viel erkennen, daß man danach ungefähr ihre Stellung im System bestimmen kann.

II. KAPITEL

Die Bedeutung der geschlechtlichen Fortpflanzung für die Organismen

In den untersten Gruppen der Pflanzen findet sich, wie wir gesehen haben, überhaupt keine geschlechtliche Fortpflanzung, den höher stehenden kommt sie zunächst in einfachster, später in immer ausgebildeterer Form zu. Aber selbst bei einer relativ niederen Entwicklungsstufe findet sich mitunter schon eine Erscheinung, welche erkennen läßt, nach welcher Richtung die geschlechtliche Fortpflanzung für die Organismen eine besondere Bedeutung hat.

Bei einer kleinen Meeresalge, *Codium tomentosum*, sind die Geschlechtszellen bewegliche, verschieden große Schwärmzellen, Makro- und Mikrogameten, die weiblichen und männlichen Geschlechtszellen entsprechen. Beide werden von derselben Pflanze gebildet, es kommt aber nicht zu einer Copulation zwischen ihnen, also zu einer geschlechtlichen Fortpflanzung, wenn alle Gameten von derselben Mutterpflanze stammen. Nur wenn die Gameten von zwei verschiedenen Individuen herrühren, findet eine Copulation statt. Ähnlich ist es bei vielen der niederen Pflanzen, ja wir finden bei ihnen auch schon den Charakter der Diöcie ausgeprägt, wobei ein Teil der Individuen nur männliche, ein anderer nur weibliche Geschlechtsorgane ausbildet. Das ist z. B. bei vielen Oedogonien der Fall, ebenso bei manchen Characeen u. a. Hier müssen sich also unbedingt die Geschlechtszellen verschiedener Individuen vereinigen, um eine geschlechtliche Fortpflanzung zu ermöglichen.

Diese Einrichtungen, daß sich nur die Geschlechtszellen verschiedener Individuen vereinigen können, werden im Laufe der weiteren Entwicklung des Pflanzenreiches immer schärfer ausgeprägt, ohne daß allerdings die Möglichkeit, daß sich auch die Geschlechtszellen desselben Individuums oder derselben Blüte miteinander vereinigen können, stets völlig ausgeschlossen wäre. Die sehr mannigfaltigen Einrichtungen, welche die Blüten in dieser Hinsicht besitzen, sind in einem späteren Kapitel ausführlicher behandelt. Hier soll uns nur die Frage beschäftigen, weshalb die geschlechtliche Fortpflanzung im Verlaufe der Entwick-

lung der Pflanzenwelt immer mehr in den Vordergrund tritt, während die ungeschlechtliche in gleichem Maße an Bedeutung verliert.

Die oben erwähnte Erscheinung, daß sich schon sehr frühzeitig bei den Geschlechtszellen das Bestreben bemerkbar macht, nur mit solchen anderer Mutterindividuen sich zu vereinigen, und daß sich dieses Bestreben immer schärfer ausbildet, läßt erkennen, daß wir in der Vereinigung der Geschlechtszellen verschiedener Individuen, die wir ganz allgemein als Kreuzung bezeichnen können, eine wesentliche Bedeutung der geschlechtlichen Fortpflanzung erblicken müssen.

Nach den Gesetzen der Vererbung werden die Eigenschaften der Eltern auf die Nachkommen übertragen. Wenn nun auch die Individuen einer Art im allgemeinen die gleichen Eigenschaften haben, so sind doch individuelle Verschiedenheiten vorhanden, die sich unter den Nachkommen ebenfalls vererben, wie etwa bei Menschen bestimmte Gesichtszüge, wodurch oft eine auffallende Ähnlichkeit zwischen Eltern und Kindern bewirkt wird. Stammen aber die Nachkommen nur von einem Individuum ab, wie dies bei der ungeschlechtlichen Fortpflanzung der Fall ist, so wird natürlich die Mannigfaltigkeit der Eigenschaften, die sich vererben können, eine geringere sein, die Variabilität der Nachkommen ist sehr viel weniger umfangreich. Denn durch die Übertragung der Eigenschaften zweier Elternindividuen auf die Nachkommen, mögen diese Eigenschaften noch so gering voneinander abzuweichen scheinen, wird natürlich eine sehr viel größere Mannigfaltigkeit erzeugt, zumal diese Eigenschaften in sehr verschiedener Mischung auf die einzelnen Nachkommen übergehen. Die einen ähneln mehr dem Mutter-, die andern dem Vaterindividuum, wieder andere halten mehr die Mitte zwischen beiden. Die Möglichkeit, mit diesen verschiedenen Eigenschaften sich in ihrer Gesamtheit den verschiedenen Existenzbedingungen besser anzupassen, ist deshalb für die Nachkommenschaft zweier Eltern in weit höherem Maße vorhanden, als wenn es sich nur um die Nachkommen eines einzelnen Individuums handelt, und deshalb kommt der geschlechtlichen Fortpflanzung eben wegen der Möglichkeit der Kreuzung eine so große Bedeutung für die allgemeine Entwicklung der Pflanzenwelt zu.

Je weiter innerhalb einer Art verschiedene Formen auseinanderstehen, desto verschiedenartiger werden natürlich auch die Nachkommen ausfallen. Sie werden sich oft sogar sehr wesentlich von den Elternindividuen unterscheiden. Das tritt besonders auffällig bei vielen Kulturpflanzen in Erscheinung, von denen eben durch die Kultur so ganz verschiedene Formen entstanden sind. Man denke nur an die unzähligen „Sorten“ von Kartoffeln, die angebaut werden; sie alle gehören einer einzigen Art, *Solanum tuberosum*, an und sind aus dieser während der Kultur entstanden.

Die meisten Menschen kennen die Kartoffel nur als eine einjährige, aus Knollen erwachsene Pflanze, deren Bau und Entwicklung scheinbar ohne jedes besondere Interesse ist. Indessen die Kartoffel ist eine ausgesprochen zweijährige Pflanze, wenn man ihrer natürlichen Entwicklung von Samenkorn zu Samenkorn nachgeht, die freilich nur wenigen bekannt und nur von wenigen beobachtet ist, abgesehen von den Züchtern neuer Kartoffelsorten. Der Anbau der Kartoffel

im großen erfolgt aber stets nur durch vegetative Vermehrung; die Knollen werden so zerschnitten, daß in jedem Stücke einige Knospen, „Augen“ bleiben, und dann diese Stücke in gleichen Abständen in die Erde gelegt. So wird, Jahr für Jahr in der Landwirtschaft verfahren, von den im Herbst geernteten Knollen wird ein Teil zum Saatgut für das nächste Frühjahr reserviert, es wird also jedes Jahr nur durch vegetative Vermehrung, nicht durch Samen für die Erhaltung der Kartoffel gesorgt.

Gerade bei der Kartoffel zeigt sich aber, daß die fortgesetzte ungeschlechtliche Vermehrung auf rein vegetativem Wege nicht unbegrenzt fortgesetzt werden kann, ohne ein deutliches Nachlassen der Reproduktionskraft sowie andere Nachteile mit sich zu bringen. Ist eine Sorte eine Reihe von Jahren gebaut worden, so zeigt sich zunächst, daß der Ertrag nachzulassen beginnt, auch die Güte der Kartoffel nimmt ab, bis sie schließlich nach jeder Richtung hin minderwertig wird und ihr Anbau nicht mehr lohnt. Das ist durchschnittlich nach etwa 10—12 Jahren der Fall, bei einigen Sorten früher, bei anderen später; man nennt sie dann „abgebaut“. Solche abgebaute Sorten müssen durch neue, ertragfähigere ersetzt werden, deren Gewinnung nur durch Erziehung der Kartoffeln aus Samen, also durch geschlechtliche Fortpflanzung möglich ist.

Die grünen beerenartigen Früchte beherbergen eine außerordentlich große Zahl kleiner Samen, die im Frühjahr ausgesät, zu kleinen Pflänzchen heranwachsen, die überwintert werden müssen, weil sie erst im zweiten Jahre zur Blüte und zum Ansetzen von Knollen kommen. Nun zeigt sich aber, daß man aus einer einzigen Frucht durch Aufzucht aller Pflänzchen, sehr zahlreiche verschiedene Kartoffelsorten erhalten kann, oft 30—50 verschiedene; das liegt daran, daß nicht selten eine Kreuzung der einen weiblichen Blüte mit dem Pollen zahlreicher anderer, oft anderer Sorten stattfindet, und die Nachkommen eben die Eigenschaften der Stammeltern in allen möglichen Schattierungen zeigen.

Von den zahlreichen Formen, die auf diese Weise gewonnen werden, sucht man nun einige, die sich aus irgendeinem Grunde zu weiterem Versuch empfehlen, aus und zerteilt die Knollen in möglichst zahlreiche, aber natürlich stets mit Augen versehene Stücke, um von der einen Pflanze im nächsten Herbst möglichst viel Knollen zu ernten. Entspricht die Kartoffel im Ertrag, Geschmack und sonstigen Eigenschaften nun den Anforderungen, so wird sie noch 1—2 Jahre weiter vermehrt, ehe sie als Saatgut in den Handel kommt; es vergehen also stets etwa 5 Jahre, ehe eine neue Kartoffelsorte so weit herangezüchtet ist, daß sie zum allgemeinen Anbau Verwendung finden kann.

Sehr oft ist unter den neu gezüchteten Kartoffelsorten eine, die einer der früheren beliebten Sorten vollkommen und in jeder Hinsicht gleicht; der Fall wird sogar stets eintreten, wenn man die Samen von einer ziemlich rein gehaltenen, wenn auch abgebauten Sorte auswählt. Diesen Nachkommen haftet aber nicht der Mangel einer abgebauten Sorte an, sie zeigt sich vielmehr ebenso ertragreich, wie anfangs jene, und es ist deshalb das Ziel mancher Kartoffelzüchter, besonders beliebte und geschätzte Sorten immer wieder von neuem aus Samen zu ziehen und als „neue Züchtung“ einer bekannten Sorte in Handel zu

bringen. Zu solchen Sorten, die mehr als drei Jahrzehnte sich im Verkehr gehalten haben und immer wieder neu gezüchtet werden, gehört das bekannte Magnum Bonum.

Nichts zeigt die Bedeutung der geschlechtlichen Fortpflanzung für die Lebensenergie der Pflanze klarer als dieses Verhalten der Kartoffel. Fortgesetzt auf vegetativem Wege vermehrt, degeneriert sie, und es muß von Zeit zu Zeit auf die geschlechtliche Fortpflanzung zurückgegriffen werden, um sie ertragsfähig und normal zu erhalten. Ja selbst dann zeigt sich die Wirkung der Kreuzung sofort, wenn sie zwischen verschiedenen Individuen derselben durch fortgesetzte vegetative Vermehrung abgebauten Sorte erfolgt.

Hier ist aber auch die geschlechtliche Fortpflanzung so notwendig für die normale Erhaltung der Art geworden, daß eine Degeneration eintritt, wenn die Vermehrung nur fortgesetzt auf vegetativem Wege erfolgt. Das ist aber nicht nur bei der Kartoffel der Fall, sondern offenbar auch bei vielen andern Blütenpflanzen, nur lassen sich die Verhältnisse nicht immer so deutlich übersehen. Es ist z. B. nicht unwahrscheinlich, daß ähnliche Ursachen das Nachlassen der Wasserpestplage bedingt haben.

Die Wasserpest, *Elodea canadensis*, ist eine nordamerikanische Wasserpflanze, untergetaucht lebend, die um die Mitte des vorigen Jahrhunderts aus den botanischen Gärten in Europa entkommen ist und sich mit reißender Schnelligkeit in allerlei stehenden und fließenden Gewässern, namentlich in Deutschland verbreitet hat. Sie ist zu einer wirklichen Plage besonders in solchen Gewässern geworden, die eine beschränkte Strömung besaßen. Dort wuchs sie in so ungeheurer Masse, daß sie zu einer ernsthaften Gefahr für den Wasserverkehr wurde und viele Tausende ausgegeben werden mußten, um sie zu entfernen und die Schifffahrt zu ermöglichen. Ebenso wuchsen in kurzer Zeit ganze Teiche zu, so daß die Fische in ihrer Existenz beeinträchtigt wurden und oft massenhaft zugrunde gingen. Ein erstaunliches Reproduktionsvermögen unterstützte die Pflanze; jedes abgerissene Zweigchen, jede Knospe, die durch Wasservögel verschleppt wurde, konnte die Verbreitung ermög-



Fig. 16. *Elodea canadensis*

lichen, und ein Auftreten der gefürchteten Pflanze an Stellen herbeiführen, die bisher verschont waren. Erstaunlich ist diese Verbreitungsfähigkeit besonders deshalb, weil die Pflanze sich in Europa nur auf vegetativem Wege vermehren konnte. Sie ist nämlich diözisch und nur weibliche Pflanzen (unter dem Namen *Anacharsis alsinastrum*) waren nach Europa gelangt.

Die ungeheure Wucherung der Wasserpest in den einmal von ihr in Besitz genommenen Gewässern ließ die schlimmsten Befürchtungen laut werden, aber allmählich, etwa 20—30 Jahre nach ihrem ersten Auftreten, ließ die Intensität ihres Wachstums merklich nach, und sie geht seitdem immer mehr zurück, wenn sie auch stellenweise immer noch ein lästiges Wasserunkraut darstellt. Es ist kaum anders möglich, als auf die stete vegetative Vermehrung dieses allmähliche Erschlaffen der Wachstumsenergie zurückzuführen. Die äußeren Lebensbedingungen können sich unmöglich so sehr geändert haben, und daß sie in der ersten Zeit für die Wasserpest besonders günstig waren, zeigte die ganz enorme Ausbreitung und die Verdrängung aller einheimischen Wasserpflanzen durch diesen Fremdling. Heute wachsen unsere Wasserhahnenfüße und Laichkräuter schon wieder friedlich mit der Wasserpest zusammen, und man kann sagen, daß sie nur stellenweise noch das von ihr besetzte Gebiet in derselben Weise ausschließlich bewohnt, wie etwa 20 Jahre vorher.

Daß aber in allen Fällen, wo eine Regeneration der durch stete vegetative Vermehrung geschwächter Art eintreten soll, neben der geschlechtlichen Fortpflanzung gleichzeitig Kreuzung verschiedener Individuen notwendig ist, hat sich, wie in einem späteren Kapitel erörtert werden wird, direkt durch Versuche erweisen lassen. Die geschlechtliche Fortpflanzung ist also besonders deshalb von Bedeutung, weil sie die einzige Fortpflanzungsform ist, die eine Kreuzung verschiedener Individuen möglich macht.

III. KAPITEL

Narbe und Blütenstaub

Bei den Gymnospermen stehen, wie erwähnt, die Samenanlagen frei auf der Oberfläche der Fruchtblätter, und die Pollenkörner können direkt an sie herangelangen, bei den Angiospermen dagegen sind sie in einen Fruchtknoten eingeschlossen, so daß die Pollenkörner nicht ohne weiteres bis zu ihnen kommen können. Das Organ, welches hier die Pollenkörner aufnimmt, ist die Narbe, die entweder direkt dem Fruchtknoten oder einem stielförmigen Träger, dem Griffel aufsitzt.

Die Narbe ist überaus verschiedenartig gestaltet, wie aus Fig. 17, in der eine Anzahl Narben heimischer Pflanzen wiedergegeben sind, hervorgeht. Sie besteht aus einem zarten, dünnwandigen Gewebe, welches an der Oberfläche mit Haaren, Papillen oder Gruben versehen ist, auch oft Vorsprünge, Ecken, Leisten usw. besitzt. Je nachdem es sich um Blüten handelt, die vom Winde befruchtet werden

oder um solche, bei denen Insekten die Übertragung des Blütenstaubes bewirken, sind die Narben auch ganz verschieden gebaut, immer aber ist wenigstens ein Teil der Narbenoberfläche so gebaut, daß er den abgeladenen Pollen festhält.

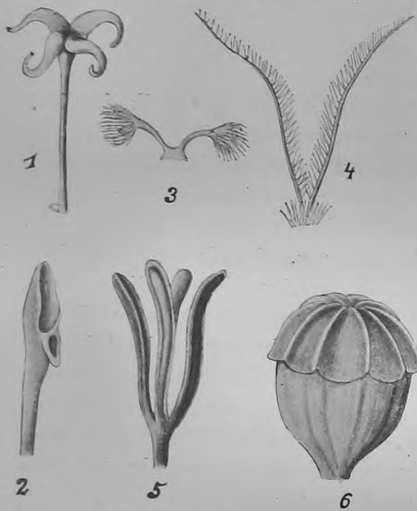


Fig. 17. Verschiedene Narben. 1 *Epilobium angustifolium*; 2 *Polygala vulgaris*; 3 *Glyceria fluitans*; 4 *Triticum vulgare*; 5 *Paris quadrifolia*; 6 *Papaver somniferum*. (Lupenvergrößerung)

Das kann nun auf sehr verschiedene Weise geschehen. Gewöhnlich besteht die Oberflächenschicht aus vortretenden Papillen, die zwischen sich kleine Gruben lassen, in welche die Pollenkörner hineinpassen. Oft sind sie auch mit einer klebrigen Schicht bedeckt, die alle Pollenkörner, die auf die Narbe kommen, festhält. Oft sind die Narben beim Aufblühen noch nicht zur Aufnahme des Blütenstaubes geeignet, es vergehen oft noch Stunden, oder selbst Tage, ehe der Pollen auf ihr haftet. Auch das kann verschiedene Ursachen haben; so entwickelt sich bei manchen Narben die klebrige Schicht erst einige Zeit nach dem Aufblühen. Bei dem schwarzen Hollunder (*Sambucus nigra*) bilden die Narbenpapillen nach kurzer Zeit teilweise becher-

förmige, der Größe der Pollenkörner entsprechende Vertiefungen, indem der obere Teil der Papille eingestülpt wird (Fig. 18). Die anderen Papillen behalten dagegen ihre Gestalt, so daß sich erst einige Zeit nach dem Aufblühen die Vertiefungen finden, in denen die Pollenkörner besonders sicher sich einlagern können. Beim Aufstäuben von Pollen auf solche junge Narben, bei denen noch alle Papillen gewölbt sind (Fig. 18a, b) bleiben deshalb auch nur vereinzelte Pollenkörner hängen, während auf die nur wenig älteren Narben mit teilweise eingezogenen Papillen der aufgestäubte Pollen überall haften bleibt (Fig. 18c). Bei anderen Narben treten Gruppen von Papillen etwas weniger hervor, so daß hierdurch Gruben gebildet werden, welche der Größe der Pollenkörner entsprechen. Denn immer stimmen die Vertiefungen der Narben in der Größe mit den Pollenkörnern derselben Art überein, so daß z. B. größere Pollenkörner gar nicht Platz in den Vertiefungen finden und entweder überhaupt nicht haften, oder doch mit der die Keimung anregenden Narbenflüssigkeit gar nicht in Berührung kommen.

Bei andern Narben ist die Einrichtung zur Aufnahme des Pollens insofern noch wirksamer, als sie eine oft trichterförmige Höhlung besitzen, in welche der von den blütenbesuchenden Insekten an den scharfen Rändern oder Kanten der Narbe abgestreifte Pollen hinabfällt. Bei *Mimulus luteus* ist die Narbe zweiklappig, der untere Lappen klappt, nachdem der Pollen der vorher besuchten Blüte durch ein Insekt in die Narbe abgestreift ist, nach oben, so daß die Narbe nach der Berührung einige Minuten geschlossen bleibt. Sehr häufig sind, wie in diesem Falle,

die Narben so eingerichtet, daß sie von dem die Blüte besuchenden Insekt nicht mit dem Pollen der eigenen Blüte beladen werden können.

Nach dem Bestäuben keimen die Pollenkörner innerhalb oft sehr kurzer Zeit und treiben ihren Keimschlauch durch das Narbengewebe in den Fruchtknoten; doch ist der Beginn der Keimung und die Dauer der Entwicklung des ganzen

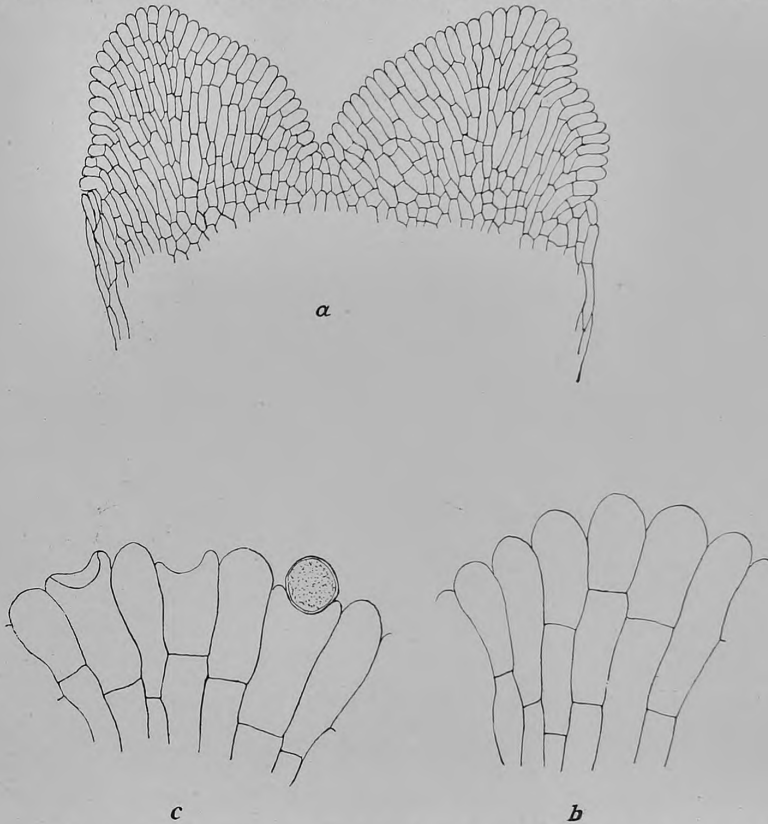


Fig. 18. Narbe von *Sambucus nigra*. *a* Längsschnitt durch den oberen zur Aufnahme des Pollens dienenden Teil der Narbe; *b* Teil derselben, stärker vergrößert aus einer eben sich öffnenden Blüte; *c* ebenso, aber aus einer etwas älteren Blüte mit aufgefallenem Pollenkorn

Prozesses vom Beginn bis zur Befruchtung der Eizelle sehr verschieden nach Pflanzenart, Stadium der Blütenentwicklung und wohl auch nach der Temperatur. Nach eingetretener Befruchtung oder schon während der Keimung verwelkt und bräunt sich das Narbengewebe, so daß neue Pollenkörner, auch wenn sie noch auf die Narbe gelangen, nicht mehr festgehalten werden oder doch nicht mehr keimen. Bald darauf fallen auch die Blütenblätter ab oder verwelken, die Blüte verliert ihren Duft und die Nektarabsonderung hört auf, so daß auch die Insekten ihren Besuch einstellen.

Der Blütenstaub oder Pollen besteht aus meist rundlichen, ellipsoidischen, zuweilen eckigen kleinen Körnern, deren Größe und Gestalt sehr verschieden, aber für die einzelnen Arten ziemlich konstant und charakteristisch ist. Der Durchmesser der Pollenkörner des Vergißmeinnichtes ist z. B. nur etwa 0,003 mm, der des Kürbis etwa 0,2 mm. Gewöhnlich sind die einzelnen Pollenkörner frei, isoliert, sobald die Staubbeutel aufbrechen, es gibt jedoch auch eine Anzahl Pflanzen, bei denen immer eine Anzahl Pollenkörner zusammenhängen. Häufig liegen vier Pollenkörner wie die Ecken eines Tetraeders geordnet und an den Berührungsstellen abgeflacht zusammen, und man spricht dann von Pollentetraden,

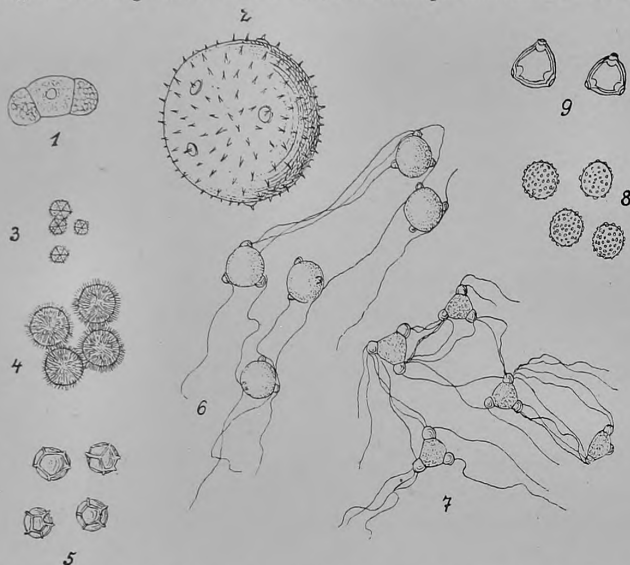


Fig. 19. Verschiedene Pollenkörner. 1 Kiefer; 2 Kürbis; 3 Löwenzahn; 4 *Malva rotundifolia*; 5 *Karthäusernelke*; 6 *Epilobium angustifolium*; 7 *Oenothera biennis*; 8 *Asarum europaeum*; 9 *Corylus Avellana*

wie sie z. B. bei den Erikazeen vorkommen. Bei den meisten Orchideen ist die ganze Pollenmasse eines Pollenschlauches zu einem wachsartigen, keulenförmigen Gebilde verklebt. Bei den meisten andern hängen aber die Pollenkörner nur unregelmäßig zusammen, entweder weil sie an ihrer Oberfläche mit kleinen Stacheln, Haaren usw. besetzt sind, oder weil sie durch eine klebrige oder etwas ölige Oberfläche aneinander haften bleiben. Zuweilen ist auch eine zähe, in Wasser nicht lösliche Masse zwischen den Körnern vorhanden, welche in Form von zuweilen lang ausgezogenen Fäden die einzelnen Pollenkörner zusammenhält, wie bei der Nachtkerze, beim Weidenröschen. Fast durchgängig haften die Pollenkörner insektenblütiger Pflanzen leichter aneinander, während die der Windblüter eine glatte, nicht klebrige Oberfläche besitzen und deshalb sofort völlig auseinanderfallen.

Pflanzen, deren Pollen nach dem Öffnen der Antheren völlig isoliert ist, zeigen

die Erscheinung des Ausstäubens. Berührt man einen in diesem Stadium befindlichen, männlichen Blütenstand der Kiefer oder einen blühenden Grashalm, so lösen sich aus den Antheren kleine Wölkchen von Blütenstaub los. Auf einer Wiese mit reichlich blühenden Gräsern kann man besonders an sonnigen, windstillen Tagen diese Erscheinung in reichlichem Maße beobachten. Fliegen, Käfer oder andere Insekten, die sich auf einem Grashalm niederlassen, bewirken durch die Erschütterung die Entstehung solcher kleiner Wölkchen und bald hier, bald dort kann man die Entladung von Blütenstaub wie kleine Explosionen wahrnehmen. Vergeblich aber würden wir dasselbe bei einer Rose suchen; nur Windblütler zeigen diese Erscheinung des Ausstäubens.

Das Pollenkorn selbst besteht aus einem protoplasmatischen Inhalt und einer zweischichtigen Membran, deren innere Schicht, die Intine, gewöhnlich dünn und farblos ist, während die äußere, die Exine, dicker, oft gefärbt, namentlich gelblich und auch meist mit Leisten, Warzen, Papillen oder Haaren, versehen ist. Daneben besitzt die Exine auch eine Anzahl Stellen, die erheblich dünner sind und oft fast wie Löcher im Pollenkorn aussehen; es sind die Keimporen, durch welche der Pollenschlauch bei der Keimung hervortritt.

Man kann dieses Hervortreten des Pollenschlauches durch schwaches Zuckerwasser bewirken; nimmt man aber reines Wasser, so tritt zwar die Intine infolge von Quellung auch hervor, es erfolgt aber keine eigentliche Keimung, kein Wachstum der Intine zu einem Schlauch, sondern nur eine Dehnung, die schließlich die Elastizitätsgrenze der Intine überschreitet und zum Zerplatzen führt. Die Pollenkörner sind also empfindlich gegen Wasser und gehen darin zugrunde. Nur einige wenige, auf die Befruchtung durch Wasser angewiesene Pflanzen haben Pollenkörner, die gegen Wasser sehr unempfindlich sind.

Es ist deshalb begreiflich, daß die meisten Pflanzen Einrichtungen besitzen, durch welche Regen und Tau vom Pollen abgehalten wird. Schon dadurch wird ein ziemlich weitreichender Schutz erzielt, daß sich die Staubbeutel bei Regenwetter oder solange der Tau auf den Blüten liegt, nicht öffnen; Insektenbesuch ist bei Regen nur unbedeutend, und ebenso würde der Wind die nassen zusammengeklebten Pollenkörner nicht forttragen können. Die Pflanzen haben also dadurch keinen Nachteil, daß sie in dieser Zeit den Pollen nicht zugänglich machen.

Sehr viele andere Pflanzen schützen den Pollen dadurch, daß ihre Blüten herabhängen, so daß auffallender Regen an ihnen herabtropft, ohne einzudringen, oder der Blütengrund ist, wie beim Löwenmaul, überhaupt geschlossen und klappt erst auf, wenn sich ein Insekt auf die Unterlippe der Blütenkrone setzt. Vielfach stehen auch die Blätter der Blütenhülle so, daß sie, wenigstens teilweise ein Dach über den Staubfäden bilden, z. B. bei der Taubnessel, wie überhaupt bei den Lippenblütlern. In anderen Fällen, z. B. bei vielen Aroideen, übernimmt ein Hochblatt, die Spatha, den Schutz der Blüten gegen Nässe.

Bei vielen Blüten mit trichterförmiger Krone sitzen die Staubblätter ziemlich tief in der Röhre, die oft über ihnen noch mit Haaren geschlossen ist; der enge Zugang und, wo vorhanden, die Haarkrone, läßt die Regentropfen nicht

bis zu den Staubblättern kommen, sondern hält sie oben zurück. Manche Pflanzen schließen ihre Blüten auch bei Regenwetter, überhaupt oft schon bei bedecktem Himmel und öffnen sie nur im Sonnenschein, wie der *Crocus*. Auch die gewöhnliche, stengellose Eberwurz (*Silberdistel*, *Carlina acaulis*) wölbt bei Regenwetter die Strahlenblüten über dem Blütenkorb zusammen, daß keine Tropfen zu den fruchtbaren Röhrenblüten der Scheibe kommen.

IV. KAPITEL

Die Übertragung des Pollens durch Wasser und Wind

Es gibt nur wenige, zumeist am Grunde des Wassers lebende Gewächse, bei denen eine Übertragung des Pollens durch das Wasser selbst stattfindet. Von den bei uns im süßen Wasser lebenden Arten ist es besonders das Nixenkraut (*Najas major* und *N. minor*), das zu dieser kleinen Gruppe gehört, außerdem eine Anzahl marine oder im Brackwasser gedeihende Arten, wie *Zostera marina*, das Seegras. Bei allen diesen Pflanzen ist der Pollen auch von vornherein ganz anders beschaffen, es sind keine rundlichen oder eckigen Körner, sondern mehr oder weniger langgestreckte, etwas wurmförmige oder zylindrische Zellen, die nicht die charakteristische Exine zeigen. Wenigstens nehmen die Pollenzellen diese Form an, sobald sie aus den Antheren ins Wasser gelangen, wenn sie auch vorher eine rundliche Gestalt haben. Der Pollen wird passiv durch die Bewegung des Wassers zu den Narben gebracht.

Bei einem anderen Teil der Wassergewächse ist der Pollen aber ebenso entwickelt, wie bei den Landpflanzen, er würde also einen direkten Transport durch das Wasser nicht vertragen. Entweder übernehmen dann Wind oder Insekten die Übertragung, oder es kann auch eine Vereinigung der Kraft des Windes mit der des bewegten Wassers zusammenwirken. Ein interessantes Beispiel dafür ist *Vallisneria spiralis*, eine untergetaucht am Grunde der oberitalischen Seen wachsende Pflanze mit grasähnlichen Blättern, die mancherlei Eigentümlichkeiten zeigt. Schon die Stiele der weiblichen Blüten sind merkwürdig. Sie sind gewöhnlich sehr lang, aber eng schraubig eingerollt und strecken sich erst kurz vor dem Aufblühen gerade, so daß dann die Blüte an die Oberfläche des Wasser gehoben wird und sich hier in der Luft öffnet. Die männlichen Blüten aber reißen als Knospen am Grunde ab, steigen infolge ihres geringeren spezifischen Gewichtes an die Oberfläche des Wassers und öffnen sich erst hier, indem sich die Blätter der Blütenhülle wie kleine Schiffchen zurückschlagen und die beiden Staubblätter frei lassen. So werden sie durch Wind oder Wasserströmung zu den weiblichen Blüten geführt, die gerade über das Wasser hervorragen und ihre breiten, am Rande mit zarten Fransen besetzten Narben über die Blätter der Blütenhülle in gleicher Höhe wie die Staubblätter der männlichen Blüten herausstrecken. Da die Staubblätter etwas schräg nach außen gerichtet sind, so berühren sie, wenn sie an eine weibliche Blüte ge-



Fig. 20. *Vallisneria spiralis* mit eingerollten weiblichen Blütenstielen, etwas verkleinert. Rechts eine vergrößerte weibliche Blüte, an welche eine männliche geöffnete herangeschwommen ist und eben ihren Pollen an die Narbe abgibt

trieben werden, die Fransen der Narben mit den geöffneten Antheren und laden einen Teil des Blütenstaubes an ihnen ab. Auch bei der in unseren Gewässern seit fast einem halben Jahrhundert verbreiteten Wasserpest (*Elodea canadensis*) spielt sich, wenigstens in ihrer Heimat, ein ganz ähnlicher Vorgang ab; bei uns kommt eine geschlechtliche Befruchtung nicht vor, da sie nur in weiblichen Individuen auftritt. Nur wenige andere Pflanzen sind ähnlich in bezug auf die Pollenübertragung organisiert, darunter auch die in den ostpreußischen Seen gefundene *Hydrilla verticillata*. Alle unterscheiden sich von den eigentlichen Windblütlern dadurch, daß ihr Pollen nicht ausstäubt, sondern direkt von der Anthere der männlichen Blüten auf die Narben der weiblichen übertragen wird.

Bei allen eigentlichen Windblütlern wird der Pollen beim Aufspringen der Antheren in Form einer kleinen Staubwolke aus der Blüte sich erheben und durch die Luft auf die Narben anderer Blüten gelangen. Bei der Kleinheit und Leichtigkeit der Pollenkörper ist das schon bei sehr wenig bewegter Luft der Fall, die Körner werden weit fortgeführt, selbst meilenweit, und können da noch immer ihre Aufgabe erfüllen. Bei manchen Windblütlern haben die Pollenkörner noch besondere Vorrichtungen, um ihr Volumen im Verhältnis zum Gewicht zu vergrößern und damit dem Luftzuge oder Winde eine größere Fläche darzubieten, es sind besondere Flugapparate. Bei dem Pollenkorn der Kiefern z. B. ist an beiden Seiten des eigentlichen Pollenkorns je noch eine hohle, lufthaltige, unten offene Blase vorhanden, wodurch das Gewicht des Pollenkorns jedenfalls kaum nennenswert vermehrt, das Volumen aber ungefähr verdoppelt wird.

Das Ausstäuben selbst erfolgt in verschiedener Weise, manchmal explosionsartig, wie bei der Brennessel; hier wird der Blütenstaub im Augenblick, wo die Fächer der Anthere aufspringen, ruckartig entleert, was besonders morgens zu sehen ist, wenn die Sonne den Tau abgetrocknet hat, wodurch es zum Bersten der Antherenwände kommt. Bei anderen Arten kommt es in der Regel nur zu einem allmählichen Ausstreuen, wie bei den Gräsern. Die an feinen, dünnen Faden hängenden Antheren werden durch jeden schwachen Lufthauch hin- und herbewegt und streuen dabei allmählich ihren Blütenstaub aus; setzt sich aber ein schweres Insekt auf die Grasähre, so wird dadurch eine Erschütterung der ganzen Ähre hervorgebracht, so daß auch hier fast explosionsartige Pollenentladungen stattfinden. Auch bei den Gräsern kann man das Ausstäuben des Pollens am besten in den frühen Morgenstunden, etwa zwischen sechs und sieben beobachten, wenn die Sonne im Begriff ist, den Tau zu trocknen und ihr ein leichter Wind dabei behilflich ist. Doch ist die Zeit des Ausstäubens bei den einzelnen Grasarten verschieden und im allgemeinen auf bestimmte Stunden beschränkt, kann aber durch ungünstige Witterung sehr wesentlich verzögert werden. Bei dauerndem Regen bleiben die Antheren geschlossen; klärt es sich aber nach einem solchen zur Zeit der Grasblüte, die hauptsächlich Anfang Juni stattfindet, auf, so ist dann in den Morgenstunden das Schauspiel, das sich auf einer Wiese darbietet, oft überaus fesselnd; überall, oft zu Hunderten im

Gesichtskreis gleichzeitig, lösen sich die kleinen Staubwölkchen von den zarten Antheren.

Es ist ohne weiteres einleuchtend, daß sich der in der kleinen Anthere eingeschlossene Pollen in der Luft außerordentlich zerstreut, und je weiter er von der Blüte sich entfernt, desto vereinzelter finden sich die Pollenzellen in der Luft. Soll deshalb die Übertragung des Blütenstaubes in wirksamer Weise erfolgen, so müssen zwei Bedingungen erfüllt sein: die Narben müssen in besonderer Weise zum Auffangen des Pollens geeignet sein und die Zahl der gebildeten Pollenkörner muß eine verhältnismäßig ungeheuer große sein, damit die Verdünnung des Staubes durch die Luft nicht zu bald eine Belegung der entfernt stehenden Narben unmöglich macht. Beide Bedingungen sind bei den Windblütlern in hohem Maße erfüllt.

Die Menge der Pollenkörner ist bei den Windblütlern gewöhnlich eine verhältnismäßig viel größere als bei Insektenblütlern; meist sind schon viel mehr männliche Blüten als weibliche vorhanden. Man braucht dabei bloß an die Haselnuß zu denken, deren kleine weibliche Blüten an einem Strauch gewöhnlich lange nicht die Zahl der Kätzchen erreichen. Die Kätzchen aber sind selbst wieder aus sehr zahlreichen männlichen Blüten zusammengesetzt, und jedes Kätzchen produziert Millionen von Pollenkörnern. Bei der Kiefer werden in manchen Jahren solche Unmengen von Blütenstaub gebildet, daß der Boden wie mit einem gelben Staub bedeckt erscheint; „Schwefelregen“ nennt das Volk diese Erscheinung, es ist aber kein Schwefel, sondern es sind ungezählte Milliarden von Pollenkörnern der Kiefer, die sich bei ruhigem Wetter an ungezählten Stellen in solchen Schichten abgelagert haben. Solche Massen werden auch im Verhältnis bei den meisten Windblütlern gebildet, und deshalb sind auch die Pollenkörner oft sehr klein, bei der Haselnuß z. B. 0,03 mm dick. Doch gibt es auch Pflanzen, deren Pollen recht groß ist, wie die Esche, die Kiefer. Es ist ferner notwendig, daß die Pollenkörner sich leicht voneinander lösen und nicht zusammengeballt bleiben, einmal, weil solche Massen schwerer durch die Luft fortgetragen und rascher zu Boden sinken würden, dann aber auch, weil es auf eine möglichst gleichmäßige Verteilung ankommt. Deshalb sind die Pollenzellen der Windblütler auch alle glatt, ohne Papillen und Haare, auch ohne ölige oder klebrige Oberfläche.

Nicht immer fällt der Pollen aus den Antheren so aus, daß er gleich von der Luft fortgeführt wird. Es bestehen im Gegenteil bei vielen Windblütlern eine Anzahl Einrichtungen, durch welche zunächst eine Ablagerung des Pollens irgendwo in der Blüte stattfindet, bis zu dem Augenblick, wo besonders günstige Verhältnisse eintreten, der Luftzug etwa eine Stärke erreicht hat, die eine günstige Verteilung und Verbreitung des Pollens ermöglichen. Vielfach sind Deckblätter oder Blätter der Blütenhülle, durch Vertiefungen zur Aufnahme des Pollens bestimmt; bei der Haselnuß fällt der Pollen zunächst auf die Rückseite der tiefer stehenden Blüten desselben Kätzchens. Solange kein Windhauch die Kätzchen in Bewegung versetzt, fällt der Pollen ruhig auf die darunterstehenden, fast schildartigen Rückseiten der Blüten, der erste Luftzug aber schüttelt ihn ab und führt ihn gleichzeitig fort. Würde der Pollen nicht eine solche Ablagerungsstätte

in dem Kätzchen finden, so würde er bei Windstille langsam zu Boden sinken und jedenfalls nicht die Verbreitung erhalten, die für eine ausreichende Belegung der Narben notwendig ist.

Bei anderen Pflanzen, z. B. bei der Esche, stellen sich die mit einem Längsriß aufspringenden Staubblätter so, daß die Öffnung auf der Oberseite liegt, daß also der Pollen bei windstillem Wetter im Staubbeutel liegen bleiben muß. Nur bei windigem Wetter, bei welchem auch eine Verbreitung des Pollens möglich ist, kann ein Ausstäuben erfolgen, indem einmal der Wind den Pollen aus den offenen Behältern herausfeht und zweitens die Antheren hin- und hergeschaukelt werden, so daß auch der Blütenstaub ausgeschüttet wird.

Die Narben sind bei den Windblütlern meist ganz anders eingerichtet, als bei den Insektenblütlern; sie stehen auch gewöhnlich freier, der Luft mehr ausgesetzt und sind weniger von Blattwerk umgeben, welches den freien Luftzutritt hindert. Eine sehr häufige Form ist die federartige oder pinselartige; im ersteren Falle gehen von einem meist ziemlich langen Faden zahlreiche kleine, kürzere Fädchen aus, im letzteren nehmen die Fädchen von einer Stelle ihren Ursprung. Es ist klar, daß alle Pollenkörner, welche zwischen das Fadengewirr einer solchen Narbe gelangen, leicht festgehalten werden, wie Staubkörnchen zwischen den Haaren eines Pinsels. Auch beherrschen die Narben durch diese Form der Ausbildung ein relativ großes Luftgebiet, sind also imstande, auch leichter die Pollenkörner aus der Luft aufzufangen. Oft sind sie dick, fleischig, aber dann gewöhnlich sehr groß und mit einer dem bloßen Auge sammetartig erscheinenden Schicht langer Papillen überzogen, zwischen denen die vom Winde angetriebenen Pollenkörner hängen bleiben.

Alle Windblütler besitzen unscheinbare und gewöhnlich duftlose Blüten; sie brauchen keine Anlockungsmittel für Insekten, denn diese schaden ihnen eher als sie ihnen nutzen; je unscheinbarer, desto eher entgehen sie unberufenen Gästen. Aber noch eine andere Ursache liegt der unscheinbaren Blütenbildung zugrunde; je weniger Hüllen und Blätter die Blüte umgeben, um so leichter findet das Ausstäuben des Pollens statt, um so leichter auch die Aufnahme desselben durch die Narbe. An großen Blättern würden viele vom Wind herangewehte Pollenkörner abgleiten und von den Narben abgehalten werden.

Bei den Nadelhölzern, die eine Narbe nicht besitzen, müssen die Pollenkörner auf die Knospenwarze der Samenanlage gelangen, um ihren Zweck zu erfüllen. Die Samenanlagen stehen nun aber durchaus nicht so dem Winde ausgesetzt, sondern zwischen den Fruchtblättern, den Schuppen des Zapfens versteckt. Vor und nach der Empfängnisfähigkeit der Fruchtblätter sind auch die Fruchtblätter dicht aneinandergeschlossen, so daß ein Zutritt des Pollens ausgeschlossen ist. Tritt aber die Empfängnisfähigkeit ein, so treten auch die Fruchtblätter oben auseinander und wirken dann wie Trichter, die alle an den Zapfen anprallende und abgleitende Pollenkörner auffangen und nach den Samenanlagen hindirigieren. Deshalb stehen auch die jungen Zapfen der Fichte zur Zeit der Blüte aufrecht, damit der Pollen nach den Samenanlagen zu herabfällt, erst später werden sie hängend.

Unter den einheimischen Pflanzen gehört vor allem das große Heer der Gräser

zu den Windblütlern, ferner die Nadelhölzer, die Bäume mit hängenden männlichen Kätzchen, Brennesseln, Hanf, Hopfen, Sauerampfer, alles Pflanzen, denen die Blütenhülle entweder ganz fehlt oder auf unscheinbare, niemals auffallend gefärbte Blättchen beschränkt ist. Ebenso fehlen den Blüten die Nektarien, also diejenigen Organe, welche von den Insekten in den Blüten aufgesucht werden, weil sie ihnen Nahrung liefern. Es ist aber nicht selten innerhalb ein und derselben Pflanzenfamilie ein Teil Windblütler, ein anderer Teil Insektenblütler, und auch bei diesen macht sich der Unterschied sofort im Blütenbau bemerkbar. So ist die Familie der Rosaceen mit wenigen Ausnahmen insektenblütig und meist durch schöne, oft prachtvoll duftende Blüten ausgezeichnet, die meist Nektarien besitzen; einige wenige Arten, z. B. der Wiesenknopf (*Sanguisorba*) dagegen ist ein Windblütler, besitzt keine Blumenkrone und keine Nektarien. Auch die Gattung *Thalictrum*, besonders *Th. minus* ist Windblütler und hat keine Blütenhülle, während sonst die Ranunculaceen, zu denen die Gattung gehört, fast nur Insektenblütler mit oft leuchtend gefärbten Blütenhüllen umfaßt.

Unter den Salicaceen umfaßt die Gattung *Salix*, Weide, nur Insektenblütler; sie besitzt ziemlich steife, aufrechte männliche Kätzchen mit derben, nicht fädigen Staubblättern; der Wind übt keinen wesentlichen Einfluß aus, und sie setzen dem Winde auch größeren Widerstand entgegen als die schlanken, weichen, herabhängenden Kätzchen der Pappeln, die Windblütler sind. Die Kätzchen derselben werden durch leichte Luftströmungen schon hin- und hergeschaukelt und streuen dabei ihren Staub aus. Auch haben die Blüten der Pappeln keine Nektarien, während die der Weiden Nektarien besitzen, der Blütenstaub der ersteren ist trocken, pulverig, der der letzteren nicht ausstäubend und leicht zusammenhängend.

Übrigens gibt es auch Pflanzen, die gewissermaßen einen Übergang zwischen Windblütlern und Insektenblütlern darstellen, so eine Anzahl Arten der schon oben genannten Gattung *Thalictrum*. Bei ihnen, denen die Blumenblätter fehlen, findet gewöhnlich eine Übertragung des Blütenstaubes durch den Wind statt, sie kann aber auch durch Insekten erfolgen, obgleich dies meist zufällig geschehen wird,



Fig. 21. Männliche Blütenstände (Kätzchen).
a *Populus tremula* (Windblütler); b *Salix caprea*
(Insektenblütler)

da die Blüten nur unbedeutende Anlockungsmittel, wie etwa auffallend und abstechend gefärbte Staubfäden besitzen.

Man nimmt die Zahl der Windblütler auf etwa 10 bis 12 Tausend Arten an, sie bilden also nur den bei weitem kleineren Teil der Blütenpflanzen. Es ist anzunehmen, daß die Übertragung des Pollens durch Wind die ältere Form ist, und daß sich aus ihr erst allmählich durch gegenseitige Anpassung die Übertragung



Fig. 22. *Thalictrum flavum*. Blüte, schwach vergr.

durch Insekten entwickelt hat. Nicht nur entspricht diese Annahme unserer Vorstellung von dem Entwicklungsgang im Pflanzenreich im allgemeinen, sondern sie stimmt auch damit überein, daß die am wenigsten entwickelten Formen der Blütenpflanzen, die Gymnospermen ausschließlich, die etwas höherstehenden, wie die Kätzchenträger überwiegend Windblütler, die am höchsten stehenden, wie die Kompositen ausschließlich Insektenblütler sind. Umgekehrt sind wohl auch einzelne Rückschläge insektenblütiger Pflanzen in windblütige vorgekommen, wie die angezogenen Beispiele von Sanguisorba und Thalictrum andeuten. Erwähnt mag noch sein, daß viele Windblütler, z. B. Gräser, Nadelhölzer, Kätzchenträger zur Bildung geschlossener Genossenschaften (Wiese, Wald) neigen, wodurch natürlich die Pollenübertragung sich wesentlich günstiger gestaltet.

V. KAPITEL

Die Übertragung des Pollens durch Tiere

Haben die Windblütler verhältnismäßig gleichförmige und ähnliche Einrichtungen, um die Übertragung des Blütenstaubes auf die Narbe zu vermitteln, so ist die Fülle und Mannigfaltigkeit dieser Einrichtungen bei den Insektenblütlern geradezu wunderbar. Das ist allerdings begreiflich, wenn man bedenkt, wie überaus verschieden gebaut die zahlreichen Insektenarten sind, die bei der Befruchtung der Blüten eine Rolle spielen, und daß es sehr zahlreiche Blüten gibt, die für die Übertragung des Pollens auf ganz bestimmte Insektenarten angewiesen sind, während der Besuch anderer Arten nutzlos, oft geradezu schädlich ist. Es ist deshalb verständlich, daß solche auf den Besuch ganz bestimmter Insektenarten angewiesene Blüten auch gerade den Körperverhältnissen dieser Insekten besonders gut angepaßt sind, wodurch wieder eine für den Besuch anderer Insekten weniger geeignete Beschaffenheit entsteht.

Sicher hat sich die Ausbildung bestimmter Blütenformen nicht einseitig als Anpassung an bestimmte vorhandene Insektenformen vollzogen, sondern die Anpassung ist eine gegenseitige gewesen, auch die Insekten haben sich an die Blüten angepaßt. Dabei darf aber nicht vergessen werden, daß die Blüten im allgemeinen den passiven, die Insekten den aktiven Teil in diesem Gegenseitigkeitsver-

hältnis darstellen. Für die Insekten ist der Nahrungserwerb die einzige Ursache, die sie in die Blüten führt; für die Blüten aber ist die Vermittelung der Pollenübertragung die Hauptsache, alles andere, was sie den Insekten bieten, ist nur im Interesse der Pollenübertragung entwickelt. Die Blüten müssen also nach verschiedenen Richtungen sich entwickeln, sie müssen zunächst die Insekten auf ihr Vorhandensein aufmerksam machen, sie anlocken, damit sie nicht achlos an ihnen vorüberfliegen, sie müssen ferner den Insekten auch Nahrung in irgendeiner Form bieten, sonst würde die Anlockung bald fruchtlos sein, und sie müssen schließlich so eingerichtet sein, daß die Insekten nicht bloß ihre Nahrung aus den Blüten holen, sondern auch passiv die Rolle des Pollenüberträgers auf andre Blüten, andre Pflanzen der gleichen Art spielen müssen. Aber unter den zahllosen Insekten gibt es auch viele Arten, die zwar gleichfalls lüstern nach den Schätzen der Blüte sind, die aber aus irgendwelchen Gründen für die Pollenübertragung sich wenig oder gar nicht eignen. Ihr Besuch der Blüten bringt den Pflanzen keinen Vorteil, nur Nachteil, indem sie den der Übertragung dienenden Insekten die Nahrung wegnehmen und damit den Blütenbesuch der letzteren vermindern. Die Pflanze muß also auch noch Schutzeinrichtungen gegen solche ungebetene Gäste, gegen die unreelle Konkurrenz entwickeln.

Die Insekten dagegen brauchen hauptsächlich sich für den beim Blütenbesuch angestrebten Zweck nach der Richtung hin zu entwickeln, möglichst bequem zu den in der Blüte gespeicherten und nicht immer leicht zugänglichen Schätzen zu gelangen und diese so gut als möglich einzusammeln. Da nun die Nahrung, welche die Blüten bieten, in zwei wesentlich verschiedenen Stoffen, in Nektar und Blütenstaub, bestehen, so sind auch die zum Einsammeln dieser dienenden Apparate ganz verschieden. Die weitaus größere Mehrzahl der Insektenarten sammelt überhaupt nicht ein, sondern stillt nur den augenblicklichen Appetit, indem sie den Nektar aufsaugen und in den Magen leiten, wie die Schmetterlinge und Fliegen, oder die Pollenkörner verzehren, wie die Rapskäfer; andere aber und zwar gerade die eifrigsten Blütenbesucher, namentlich Bienen und Hummeln, sammeln wirklich ein und tragen die Vorräte nach Hause. Sie sammeln den Nektar in der sogenannten Honigblase, die sie, zu Hause angekommen, in den Zellen entleeren, und den Blütenstaub zwischen Haaren, die oft wie ein feiner Plüsch die Unterseite des Körpers, namentlich aber bestimmte Segmente einzelner Beinpaare umgeben. Zwischen diesen Haaren streift sich der Blütenstaub beim Umherkriechen der Insekten von den Antheren ab, bleibt hängen und wird, da der Pollen der Insektenblütler immer etwas anhaftet, zu ziemlich dichten Massen angehäuft und nach Hause getragen, wo er ebenfalls als Futter für die Larven aufgespeichert wird.

Solche „einsammelnde Insekten“ arbeiten den ganzen Tag und besuchen natürlich viel mehr Blüten als andere, die nur so lange den Blüten ihre Aufmerksamkeit schenken, bis ihr Magen befriedigt ist. Die ersteren sind deshalb für die Übertragung des Pollens von viel größerer Bedeutung, zumal sie auch solche Blüten besuchen, die keinen Nektar haben, sondern ihnen nur Blütenstaub zu bieten vermögen. Diese letzteren, als Pollenblüten bezeichneten

Blüten werden von dem überwiegenden Teil der nur auf Nektar ausgehenden Insekten gemieden oder nur zufällig besucht; sie sind deshalb für die Pollenübertragung im wesentlichen auf die Pollen sammelnden Bienen und Hummeln beschränkt.

VI. KAPITEL

Die Insektennahrung in der Blüte

Die nahrungsuchenden Insekten finden in den Blüten meist nur Blütenstaub und Honig oder Nektar, wie die süße, hauptsächlich Zucker enthaltende Flüssigkeit auch genannt wurde. Daneben kommen aber auch noch bei einer Anzahl

Blüten Haare, Wärrchen oder Gewebepolster vor, welche dünnwandige und sehr saftreiche Zellen haben, die vielen Insekten als Nahrung dienen. Auch kommt es, wiewohl nur bei wenigen Pflanzen (z. B. *Tradescantia*) vor, daß die Blumenblätter bald nach dem Aufblühen in eine saftreiche Masse zerfallen, die den Insekten Nahrung gibt.

Unter den Blüten, welche den Insekten eine andere Nahrung als Pollen und Honig bieten, sind viele, die irgendwo zarte Safthaare besitzen, wie unsere Gauchheilarten, von denen das rotblühende *Anagallis arvensis* fast überall auf Äckern verbreitet ist, während das blaublühende *A. caerulea* auf Kalkboden vorkommt. Betrachtet man den Faden eines Staubblattes mit der Lupe, so sieht man, daß derselbe von zahlreichen feinen Haaren bedeckt ist. Unter dem Mikroskop erscheinen diese aus kugeligen bis langgestreckten dünnwandigen, aber sehr saftreichen Zellen gebildet (Fig. 23), die von kleineren Insekten ausgesaugt oder abgefressen werden. Dabei beladen sich die Insekten aber mit dem auf sie herabfallenden Blüten-



Fig. 23. Teil eines Filamentes von *Anagallis arvensis* mit Safthaaren

staub, den sie dann auf andere Blüten übertragen. Auch an den Staubfäden der Königskerze (*Verbascum*) sind solche Haare vorhanden, ebenso an denen der verschiedenen *Tradescantia*-arten, besonders bei *Tradescantia virginica*, die vielfach zur Demonstration der Plasmaströmung in mikroskopischen Kursen verwendet werden. Die Plasmaströmung kann man aber auch in den jungen Staub-

fadenhaaren der anderen Pflanzen sehen, z. B. sehr gut bei *Anagallis arvensis*. Ähnliche Einrichtungen sind nicht gerade selten, doch treten sie gegenüber den Blüten, welche Pollen und Honig bieten, sehr zurück.

Bei einigen Blüten sind manche Stellen der Blumenblätter selbst mit Wülsten von dünnhäutigen saftreichen Zellen ausgestattet, oder die Epidermis ist stellenweise sehr dünnhäutig und saftreich und bietet den Insekten Nahrungsstoffe, so beim Johanniskraut (*Hypericum*). Indessen sind meist noch andere Nahrungsstoffe daneben in den Blüten vorhanden, zumal auch durchaus nicht alle Blütenbesucher, die eine Pollenübertragung vermitteln können, für das Aussaugen saftreicher Zellen eine Neigung zeigen. Gewöhnlich findet sich irgendwo in der Blüte auch noch eine Absonderung süßer Flüssigkeiten.

Sehr häufig findet sich eine strenge Scheidung zwischen Pollenblüten und Honigblüten. Erstere zeichnen sich ganz allgemein durch ihren Reichtum an Staubblättern aus. Die Rosen, der Mohn, viele Obstblüten sind durch große Anzahl von Staubblättern und damit reichliche Blütenstaubproduktion sofort als Pollenblüten erkennbar. Betrachtet man eine Hummel oder Biene während ihres Aufenthaltes in einer Blüte der wilden Rose, so sieht man, daß sie ihren Rüssel gar nicht in Tätigkeit setzt, desto lebhafter aber mit ihren Beinen in den Staubfäden herumwühlt, um die Pollenkörner abzustreifen und zwischen den Haaren der Beine oder des Hinterleibes aufzuspeichern. Es sind ausgesprochene Pollenblüten, die den Insekten gar keinen Honig bieten. Man wird deshalb auch nur solche Insekten an ihnen finden, die den Blütenstaub verwenden, wie Bienen, Hummeln, eine Anzahl Fliegenarten und Käfer, dagegen fehlen die ausschließlich auf Honig angewiesenen Schmetterlinge, und man wird nie eine Rosenblüte von Schmetterlingen besucht sehen.

Da die Pollen einsammelnden und verzehrenden Insekten große Mengen Pollen seiner natürlichen Bestimmung entziehen und zerstören, müssen alle ausschließlichen Pollenblüten sehr viel größere Mengen Blütenstaub bilden, als die Honigblüten, damit trotzdem immer noch genügend Pollen zur Übertragung auf die Narben anderer Blüten übrig bleibt. Auch der Bau der Pollenblüten ist darauf berechnet, daß die Insekten sich in ihnen bequem bewegen und mit Pollen beladen können. Sie sind fast alle flach schüsselförmig ausgebreitet und bequem zugänglich, aufrecht, so daß aufliegende Bienen oder Hummeln ihre Beine nicht zum Festhalten brauchen, sondern sich zwischen den Staubblättern beliebig herumtummeln können. Fällt dabei auch Blütenstaub daneben, so schadet das nichts, er wird von den schalenförmigen Blumenblättern aufgefangen, und die nächste Biene oder Hummel kommt mit ihm doch in Berührung.

Die Einrichtungen der Pollen einsammelnden Insekten für diesen Zweck bestehen in borstenförmig angeordneten, verhältnismäßig steifen Borsten am Hinterleib oder hauptsächlich an bestimmten Segmenten der Hinterbeine. Durch diese Bürsten wird der Pollen aus den Antheren oder von den Organen, auf denen er sich angesammelt hatte, aufgenommen und zwischen den einzelnen Haaren festgehalten. Je mehr Blüten besucht und je mehr Pollenkörner zwischen den Haaren aufgespeichert werden, desto dichter wird die Pollenmasse zusammen-

gedrückt, und da der Pollen der meisten Pflanzen etwas klebrig ist oder doch durch Würzchen usw. leicht aneinander haftet, so bleibt er auch zwischen den Haaren leicht hängen. Nicht klebriger Pollen wird von den Insekten zuweilen vorher benetzt, um ihn besser haftend zu machen, wozu der Inhalt der Honigblase, zuweilen auch der Saft ausgesaugter saftreifer Zellen der Blüten verwendet wird.

Auf der anderen Seite gibt es Blüten, die verhältnismäßig geringe Mengen Blütenstaub bilden und diesen gewöhnlich nicht in größeren Mengen auf einmal hergeben. Die Blüten besuchenden Insekten würden hier nicht auf die Kosten an Zeit und Arbeit kommen, wenn sie in diesen Blüten nur Pollen sammeln wollten. Solche Blüten, die sich durch eine geringe Zahl von Staubblättern auszeichnen, sind aber gewöhnlich Honigblüten und scheiden an irgendeiner Stelle einen meist farblosen, Honig enthaltenden Saft aus. Die Insekten besuchen sie auch meist nur wegen des Honigs und kümmern sich oft gar nicht um die geringen Mengen Blütenstaub, der ihnen etwa zuteil werden könnte.

Gewöhnlich erfolgt die Ausscheidung des Honigs an bestimmten, auch äußerlich gekennzeichneten Stellen der Blüte, an den sogenannten Nektarien, nur in seltenen Fällen scheint die ganze Oberhaut der Blütenblätter oder bestimmter Teile der Blüte den süßen Saft auszuschwitzen. Die Nektarien können aber nicht nur an sehr verschiedenen Stellen der Blüten stehen, sondern auch selbst sehr verschieden geformt sein. Sehr häufig ist der Blütenboden zu einer Scheibe oder einem Diskus umgestaltet, der auf seiner ganzen Oberfläche oder an einzelnen Stellen Honig absondert, so beim Kreuzdorn und in ähnlicher Weise bei den Doldengewächsen. Bei den Lippenblütlern und verwandten Familien zieht sich um den Fruchtknoten ein niedriger Wulst herum, der Honig absondert. Bei den Cruciferen stehen in der Nähe der Staubblätter am Grunde kleine Honig absondernde Warzen, bei den Winden bilden fünf kleine Schüppchen ein becherförmiges Organ um den Fruchtknoten, welches Honig absondert. Ebenso kommt es nicht selten vor, daß an den Staubblättern selbst Nektarien sich befinden, und zwar hauptsächlich am Staubfaden; so hat die Heidelbeere (*Vaccinium Myrtillus*) ein Grübchen am Grunde der Außenseite der Staubblätter. Am häufigsten stehen aber die Nektarien an den Blumenkronblättern selbst und haben hier auch die mannigfaltigste Ausbildung erhalten. Bei den meisten Hahnenfußarten befindet sich am Grunde der Blumenblätter ein Honigrübchen, beim Baldrian (*Valeriana officinalis*) bemerkt man an der kleinen Kronenröhre eine rundliche Ausbauchung, in welcher der Honig ausgeschieden wird. Vielfach sind einzelne oder alle Blumenblätter in einen mehr oder weniger langen Sporn ausgezogen, der am Grunde Honig birgt. Zuweilen sind auch ganze Blattgebilde zu Nektarien umgewandelt worden und zeigen dann oft die merkwürdigsten Formen, wie bei *Parnassia palustris*, wo die Nektarien auf der Innenseite von Blattgebilden stehen, die eine größere Anzahl in ein Köpfchen endender Fortsätze tragen. Nicht selten trägt auch ein einzelnes oder alle Blumenblätter auf der Innenseite eine Honig absondernde Schicht; so trägt das Schneeglöckchen auf der Innenseite der inneren Perigonblätter eine Anzahl Längsfurchen, in denen der Honig ausgeschieden wird.

Die Ausscheidung selbst erfolgt nur in den seltensten Fällen durch die Membran der Epidermis selbst, und in diesem Falle breitet sich die Honigschicht in Form eines dünnen, gleichmäßigen Belages auf den Blättern aus. Weit häufiger tritt der Honig in Form kleiner Tröpfchen aus Organen hervor, die mit den Wasserspalten oder Spaltöffnungen Ähnlichkeit haben und als Honigspalten bezeichnet werden können. Die Menge des ausgeschiedenen Honigs ist sehr verschieden; meist sind es nur sehr kleine, kaum erkennbare Tröpfchen, die aus den Spalten hervortreten, aber gewöhnlich mit den benachbarten Tröpfchen zusammenfließen. Zuweilen fließt der Honig, wenn er reichlich erzeugt wird, wie bei manchen *Linaria*-Arten von dem Ort der Bildung nach besonderen Behältern, „Safthaltern“, in denen er sich dann oft in beträchtlicher Menge ansammelt. Bei einigen ausländischen Pflanzen werden aber auch große Mengen Honig enthaltender Flüssigkeit abgesondert, die dann aus der Blüte abtropfen (*Melianthus*).

Die Stellen, an denen der Honig abgeschieden wird, sind oft durch verschiedenartige Vorrichtungen schwer zugänglich gemacht, besonders die am Grunde langer Röhrenblüten oder Blütenstörche gelegenen. Hier können nur Insekten mit sehr langem Rüssel den Honig saugen, oder Kolibris, welche eine überaus lange Zunge besitzen, mit welcher sie aus dem Grunde der langen Röhrenblüten gleichzeitig Honig und kleine Insekten herausholen. Aber auch der nicht in tiefen Röhren versteckte Honig ist nicht allen Insekten gleichmäßig zugänglich. Ist der Honig in sehr dünner Schicht gleichmäßig über größere Flächen ausgebreitet, so wird er besonders kurzrüsseligen Insekten, namentlich solchen mit breitem Saugrüssel, wie Fliegen, zugänglich sein, während er für die Insekten mit langem, gleichzeitig meist sehr dünn endendem Rüssel schwer zu erwerben ist. Umgekehrt kann der Honig aus engen Ritzen und Spalten wieder nur gut mit einem dünnen Rüssel hervorgeholt werden, auch wenn er gar nicht besonders tief liegt.

VII. KAPITEL

Die Anlockung der Insekten durch die Blüten

Die Insekten, die ihre Nahrung in den Blüten finden, würden viel Zeit mit vergeblichem Suchen verlieren, und viele Blüten würden überhaupt vergeblich auf Insektenbesuch warten, wenn den Blüten nicht Mittel zur Verfügung ständen, sich den Sinnesorganen der Insekten auf weitere Entfernungen bemerkbar zu machen, ihr Vorhandensein anzuzeigen. Das geschieht im allgemeinen durch auffallende Farbe der Blüten und durch ihren Duft. Windblütige Pflanzen haben duftlose, unscheinbare Blüten, weil sie weder Duft noch auffallende Färbung zur Übertragung des Pollens brauchen.

Die Farbe der Blüten soll einen Kontrast gegenüber all den Gegenständen, die für die Insekten kein Interesse haben, zeigen; grüne Blüten werden sich von dem grünen Laub der Blätter wenig abheben, und deshalb sind rein grüne oder auch nur grünliche Blüten selten und meist nur zu Zeiten entwickelt, wo die

meisten Pflanzen noch kein grünes Laub haben. Die Christrose entwickelt ihre grünlichen Blüten im Spätwinter, zu einer Zeit, wo grüne Pflanzen nur sehr spärlich zu finden sind. Ebenso fehlt Grau unter den Blütenfarben der einheimischen Flora, braun ist nur sehr spärlich vertreten, häufiger blau und violett, am häufigsten rot, gelb und weiß als Farben, welche sich am besten von dem Grün der Pflanze abheben.

Gewöhnlich übernehmen die Blätter der Blütenhülle die Aufgabe, durch auffallende Farben die Insekten anzulocken, und zwar gewöhnlich der oder die inneren Kreise derselben, welche man als Blumenkrone bezeichnet. Von ihr stechen die äußeren Blätter der Blütenhülle, der Kelch durch die grüne Farbe ab; selten sind auch die äußeren Blätter blumenblattähnlich gefärbt, in welchem Falle man bekanntlich von einem Perigon spricht. Im letzteren Falle, oder wenn die Kronblätter ihrer Aufgabe der Insektenanlockung nicht genügen, übernehmen die äußeren Blütenhüllblätter diese Funktion, sind dann aber doch häufig auf der Außenseite grünlich gefärbt.

Die grünen Kelchblätter haben nicht nur als schützende Hülle für die inneren Blütenorgane zu fungieren, sondern sie sollen auch die Blüte im Knospenzustande oder zu einer Zeit, zu welcher Insektenbesuch nicht erwünscht ist, möglich verhüllen und unauffällig machen, wozu natürlich die grüne, von den Laubblättern am wenigsten abstechende Farbe am geeignetsten ist. Deshalb sind auch die äußeren Perigonblätter auf der Außenseite oft grün gefärbt, wie bei manchen Ornithogalumarten. Denn solange die Blüte noch im Knospenzustande sich befindet, kann sie keinerlei Insektenbesuch brauchen; alle Insekten, die sie doch aufsuchen wollen, haben für sie gefährliche Absichten. Aber auch nach dem Aufblühen kommen noch Tageszeiten, in denen sie nur von schädlichen, oder doch wenigstens ihr keinen Nutzen gewährenden Insekten besucht werden würden, weshalb sich viele Blüten während dieser Zeit schließen, wobei ihnen wieder die unauffällige grüne Farbe der Kelchblätter zustatten kommt. Die Blüte soll also zwar Insekten anlocken durch auffallende Farbe, aber doch hauptsächlich nur solche, die für sie durch Pollenübertragung nützlich sind; deshalb hat eine Insektenanlockung zu einer Zeit, wo die ihr nützlichen Insekten nicht fliegen, für sie keinen Wert, im Gegenteil, durch Anlockung schädlicher Insekten könnte ihr Schaden zugefügt werden.

Fehlen auffallend gefärbte Blütenhüllblätter, wie bei den Weiden, die doch auch auf Insektenbesuch angewiesen sind, so kann die Rolle derselben auch von den Staubblättern übernommen werden. Hier sind die Staubblätter nicht nur lebhaft gelb oder rot gefärbt, sondern fallen auch durch ihre Masse, mit der sie in den Kätzchen zusammengehäuft sind, auf, so daß sie sehr wohl denselben Eindruck hervorrufen können, wie lebhaft gefärbte Blumenblätter. Zuweilen sind bei solchen Blüten ohne buntgefärbte Hülle die Staubfäden sehr lebhaft, aber anders gefärbt als die ebenfalls lebhaft gefärbten Staubbeutel, und der hierdurch entstehende Kontrast ist oft sehr auffällig, wie bei manchen *Thalictrum*arten. Allerdings neigen solche Blüten, wie dies gerade bei einigen Arten der genannten Gattung der Fall ist, schon zum

Teil zur Windblütigkeit, und sind nicht immer ausschließlich auf Insektenbefruchtung angewiesen.

Bei den Korbblütlern sind nicht selten die am Rande des Blütenkorbes stehenden Blüten ausschließlich dem Dienst der Insektenanlockung gewidmet, sie sind völlig steril, aber durch Form und Farbe so auffallend, daß sie scharf gegen die unscheinbaren Blüten der Scheibe abstechen und den Eindruck von Blumenblättern machen, während die Scheibenblüten von Unkundigen oft gar nicht als Blüten gedeutet werden. Ein sehr bekanntes Beispiel dafür ist das Gänseblümchen, dessen weiße Randblüten flach zungenförmig, während die zahlreichen Scheibenblüten gelb, röhrenförmig, klein und unscheinbar sind. Wer den Bau



Fig. 24. Gruppe von blühender Sternmiere

des Blütenköpfchens nicht kennt, würde die unscheinbaren kleinen Röhren der Scheibe nicht für Blüten halten.

Solche Kontraste in der Gestalt und Farbe zwischen Randblüten und Scheibenblüten sind bei den Korbblütlern überaus häufig, manchmal aber ist auch nur die Gestalt der Blüten verschieden, während die Farbe dieselbe ist, wie bei *Chrysanthemum segetum*, der Wucherblume, die goldgelbe zungenförmige Randblüten und ebenso gefärbte röhrenförmige Scheibenblüten besitzt.

Bei diesen Korbblütlern kommt auch noch das Prinzip der Massenanhäufung von Blüten hinzu, um den Effekt zu verstärken. Die einzelne kleine Blüte würde bei ihnen nur auf kurze Entfernungen von den Insekten wahrgenommen werden, das ganze Blütenköpfchen wird auf die vielfache Entfernung bemerkt. Das Zusammentreten der Blüten zu Blütenständen ist deshalb im Pflanzenreich auch ganz allgemein verbreitet. Auf wie weite Entfernungen sind z. B. die gelben Blütentrauben des Goldregens oder selbst die blauen der an Mauern und Lauben gezogenen *Wistaria* zu erkennen! Oder die weißen, aus einzelnen meist kleinen aber zahlreichen Blüten zusammengesetzten Dolden der Umbelliferen!

Hier tritt nun vielfach auch noch eine Eigentümlichkeit in Erscheinung, die merklich zu einer Erhöhung des Farbeffektes bei solchen Blütenständen beiträgt, die sogenannte strahlige Ausbildung der Randblüten; die nach außen gerichteten Blütenblätter der am Rande einer Dolde stehenden Blüten werden nämlich viel größer als die nach innen gerichteten oder als alle Blütenblätter der inneren Blüten, so daß sie sehr viel mehr in die Augen fallen. Besonders deutlich ist dies beispielsweise bei verschiedenen Arten der Gattung *Iberis* der Fall, in geringerem Maße auch beim Hollunder. Ebenso können kleine Pflanzen mit an sich unscheinbaren Blüten durch ihr massenhaftes, fast wiesenartiges Auftreten und die damit verbundene Anhäufung der Blüten durchaus auffallend wirken, wie manche Sternmieren (*Stellaria holostea* u. a. Fig. 24).

Eine ausgesprochene Massenwirkung liegt auch im allgemeinen bei blühenden Obstbäumen vor, bei Schlehen, Faulbaum, Traubenkirschen. Hier sind die blühenden Bäume für das menschliche Auge wenigstens schon auf weite Entfernungen sichtbar, besonders, wenn sie sich, wie beispielsweise ein wilder Kirschbaum in einer Parkanlage gegen das dunkle Grün von Nadelhölzern mit leuchtend weißer Blütenpracht abheben (Fig. 25). Auch die meist massenhaft auftretenden Blüten des Schlehdorns heben sich lebhaft gegen das schwarze und noch blattlose Geäst des Strauches ab. Wie weit das Insektenauge reicht, wissen wir nicht, daß es aber solche leuchtenden Blütenmassen ebenfalls auf viel weitere Entfernungen wahrnehmen wird, als einzelne, in der Umgebung verschwindende Blüten, ist doch wohl mit Sicherheit anzunehmen.

Unterstützt wird die Reizwirkung der Blütenhülle auch häufig durch lebhaft gefärbte, dicht unter der Blüte stehende Hochblätter, die oft einen vollständigen Kontrast gegenüber der Farbe der Blütenhülle zeigen. So ist bei dem in Gebüsch und Wäldern verbreiteten Hain-Wachtelweizen (*Melampyrum nemorosum*), auch Tag und Nacht genannt, die Blumenkrone goldgelb, das darunterstehende Hochblatt violettblau, und da Blüten und Hochblätter in der Ähre abwechseln, ist eine eigentümliche Kontrastwirkung hierdurch bedingt. Bei noch anderen Pflanzen wird die Wirkung der fehlenden Blütenblätter überhaupt durch Hochblätter ersetzt; so besitzt die zerstreut in unseren Sümpfen vorkommende *Calla palustris* ganz unscheinbare kleine, an einem Kölbchen stehende Blüten, das aber von einem mächtigen weißen Hochblatt, der *Spatha* umgeben wird. Unzählig sind die Formen, unter denen der Farbenreiz der Blüten auf die Insekten wirkt.

Aber nicht für jeden Farbenreiz sind alle Insekten in gleichem Maße empfindlich. Die Biene scheint nach zahlreichen Untersuchungen für blaue und blauviolette Farben die meiste Reizempfindlichkeit zu zeigen und wird auch noch, wenn auch schon in geringerem Grade durch gelbe oder rote, ins Violette spielende Blüten angezogen. Dagegen scheint sie scharlachrote und orangerote Blüten nicht zu beachten. Sind von ein und derselben Pflanzenart verschiedene blühende Pflanzen nebeneinander vorhanden, so kann man fast immer wahrnehmen, daß ein Unterschied im Besuch der Pflanzen nach der Blütenfarbe festzustellen ist. Grellscharlachrote oder orangerote Blüten werden aber stets von den Bienen ver-

nachlässigt, und man bezeichnet diese Farben deshalb als die Unlustfarben der Bienen.



Fig. 25. Wilder Kirschbaum mit leuchtend weißer Blütenpracht

Auf andere Insekten wirken wieder andere Blütenfarben besonders anlockend, so braune Blüten auf Wespen, trübviolettbraune auf Aasfliegen und Aaskäfer. Hier gesellt sich allerdings meist, doch nicht immer, auch ein Aasgeruch zu der an verwesendes Fleisch erinnernden Blütenfarbe. Von diesen Insekten werden

weiße Blüten gemieden, die sonst für fast alle andern ziemlich gleiche Anziehungskraft besitzen.

Ist der Grund, auf welchem die Blüten erscheinen, nicht grün, wie dies doch in der überaus großen Mehrzahl der Fälle durch das Laub der Pflanzen der Fall ist, so kann auch eine sonst wenig in die Augen fallende Farbe der Blüten kontrastreich wirken. So besonders bei den auf schwarzbraunem Humusboden der Wälder erscheinenden, bleichgelben Stengeln und Blüten des Fichtenspargels (*Monotropa Hypopitys*), dessen helle Färbung im Dunkel des Waldes noch deutlicher hervortritt. Nicht immer zeichnen sich die an ähnlichen Orten wachsenden, nichtgrünen Pflanzen durch einen so bedeutenden Farbenkontrast aus; die blaßbraune *Neottia Nidus avis* ist oft von dem braunen Grunde nur wenig verschieden, und die braunen Blüten heben sich für menschliche Augen wenigstens nicht so von dem wenig dunkleren Grunde ab, daß man von einem Farbenreiz sprechen könnte. Nur wenn die Sonne darauf scheint, flammt sie oft wie in blassem Goldschein auf.

Neben der Anlockung durch die Farbe der Blüten ist es besonders der von ihnen ausströmende Duft, der eine wesentliche Anziehungskraft für Insekten besitzt. In vielen Fällen wird es nur der einfache Honigduft der Blüten sein, in sehr vielen anderen sind es aber spezifische Duftarten von großer Verschiedenheit und Nüancierung, die offenbar auch auf den verschiedenen Geschmack der Insekten hinsichtlich der Wohlgerüche abgestimmt sind.

Kerner von Marilaun unterscheidet 5 Gruppen von Düften, die indoloiden, aminoiden, benzoloiden, paraffinoiden und terpenoiden, je nach der chemischen Natur des Duftstoffes. Zu den indoloiden rechnet er den Duft derjenigen Pflanzen, die Zersetzungsprodukte von Eiweißkörpern als Geruchsstoffe besitzen, insbesondere Indol und Skatol, Stoffe, die besonders in den Exkrementen von Tieren und Menschen vorkommen, aber auch beim Faulen von Fleisch, Harn usw. auftreten. Dahin gehören die meisten *Aristolochia*-Arten, *Rafflesiaceen* u. a., die sich auch fast ausnahmslos durch bleichbraune, an faulendes Fleisch erinnernde Blütenfarben auszeichnen. Sie üben naturgemäß auch nur auf solche Insekten eine Anziehungskraft aus, die ihre Nahrung von derartigen Stoffen beziehen oder deren Larven sich darin entwickeln, also besonders allerlei Aaskäfer, z. B. Totengräber und Aasfliegen. Von anderen Insekten, wie Faltern, Bienen werden sie gemieden, sei es, daß letztere einen tatsächlichen Widerwillen dagegen haben, sei es, daß ihnen der Sinn für diese Art Düfte abgeht, und sie deshalb achtlos an ihnen vorüberfliegen. Im allgemeinen ist die Zahl der Blüten mit indoloiden Düften nicht groß, doch kommen neben andern Düften oft gleichzeitig auch indoloide in dem Duft einer Blüte vor.

Zu den Pflanzen, welche aminoide Düfte in den Blüten entwickeln, gehören schon eine größere Anzahl auch bei uns heimischer Arten. Die Duftstoffe selbst sind Amine, die wir ebenfalls als eine Art von Abbauprodukten des hochkomplizierten Eiweißmoleküls betrachten. Zu den verbreitetsten Duftstoffen dieser Art gehört wohl das Trimethylamin, ein für sich allein höchst unangenehm, etwas nach Heringslake riechender Körper, dessen unangenehmer Geruch aber

meist durch nebenher vorhandene, andere Duftstoffe gemildert oder so sehr unterdrückt wird, daß er im Verein mit diesen eine nicht immer unangenehme Wirkung auf unser Geruchsorgan ausübt. So ist Trimethylamin in dem Duft der Blüten des Weißdorns, vieler Spiräen, des Schneeballs und vieler anderer Pflanzen enthalten.

An reichlichsten vertreten sind die benzoloiden Düfte, die auf Körper aus der Reihe der aromatischen Verbindungen zurückzuführen sind, doch ist nur ein Teil derselben chemisch näher bekannt, wie der Duft des Heliotrops (Vanilin), des Waldmeisters (Cumarin), vieler Nelkenarten (Eugenol). Viele unserer bekanntesten wohlriechenden Blüten haben Düfte, die wohl auch in diese Gruppe gezogen werden können, obwohl dies nicht für alle sicher ist und vielleicht eine Mischung von Düften verschiedener Gruppen nicht selten vorliegt. Hyazinthen, Jasmin, Reseda, Maiglöckchen, Veilchen, Akazien, Geißblatt, gehören zu ihnen.

Zu den Pflanzen mit paraffinoiden Düften gehören Rosen, Baldrian, Reben, schwarzer Hollunder, Nachtschatten. Die Düfte gehören Kohlenwasserstoffen aus der Paraffinreihe an.

Die terpenoiden Düfte werden hauptsächlich durch ätherische Öle bedingt und sind namentlich verbreitet bei vielen Lippenblütlern, z. B. beim Lavendel, bei den meisten aber nicht oder nicht nur in den Blüten, sondern in den Blättern. Auch der Duft der Orangenblüten gehört hierher. Wohin der eigenartige Honigduft gehört, ist noch nicht sicher ermittelt, und doch ist es sicher gerade dieser, der eine große Anzahl von Insekten anlockt.

Daß die Insekten für die verschiedenen Düfte sehr ungleiche Empfänglichkeit besitzen, geht schon aus der oben erwähnten Tatsache hervor, daß für die indoloiden Düfte sich nur Aaskäfer und Aasfliegen interessieren. Für aminoide Düfte haben Schmetterlinge gar kein Interesse, desto mehr aber verschiedene Blütenkäfer. Das so stark duftende Geißblatt wird von Tagsschmetterlingen gar nicht beachtet, während die Abendschwärmer gerade diese Blüten mit Vorliebe aufsuchen. Das gleiche gilt von den Blüten der Petunien, und an beiden Pflanzen kann der Schmetterlingssammler in der Dämmerung stets vortreffliche Geschäfte machen, während er am Tage höchstens zufällig einen Schmetterling an ihnen findet.

Es ist wohl sicher anzunehmen, daß die Düfte mancher Blüten von gewissen Insekten überhaupt nicht empfunden werden, und daß sie deshalb achtlos an den Blüten vorüberfliegen. Gibt es doch zweifellos Blütendüfte, für die Insekten überaus empfindlich sind, während sie vom Menschen überhaupt nicht wahrgenommen werden. Besonders deutlich ist dies beim wilden Wein, dessen unscheinbare grünliche Blüten offenbar nur auf die kürzeste Entfernung von Insekten wahrzunehmen sind, und die dennoch einen sehr reichlichen Bienenbesuch zeigen. Hier muß also ein anderes Anlockungsmittel als die Farbe vorhanden sein, und daß das ein starker, für den Menschen nur nicht wahrnehmbarer Duft ist, geht aus dem Verhalten von Bienen hervor, die an blühendem wilden Wein vorüberfliegen, und denen der Blütenduft durch die Windrichtung zugetragen wird. Sie wenden sich fast augenblicklich, sobald sie in den Bereich

des Duftes kommen, dem wilden Wein zu, nach Kerners Angabe selbst noch in einer Entfernung von 300 Schritt von dem blühenden wilden Wein. Ich selbst konnte diese Beeinflussung der Bienen wenigstens noch auf eine Entfernung von 80 Metern an einer mit wildem Wein bedeckten Wand im botanischen Garten in Karlsruhe wiederholt beobachten. Eine Wahrnehmung der unscheinbaren Blüten durch den Gesichtssinn ist auf eine solche Entfernung zweifellos ausgeschlossen.

Überhaupt kann man als allgemein gültig ansehen, daß alle unscheinbaren und doch reichlich von Insekten besuchten Blüten diese Insektenanlockung hauptsächlich durch den Duft bewirken, während andererseits häufig sehr in die Augen fallende Blüten duftlos sind oder doch zu sein scheinen. Daß dies aber nicht immer der Fall ist, beweisen z. B. die Rosen. Werden große in die Augen fallende Blüten nicht von gewissen Insektenarten besucht, so ist allerdings anzunehmen, daß ihnen der von der Blüte ausgeatmete Duft unsympathisch ist, oder daß ihnen Erfahrung oder Instinkt sagt, daß diese Blüten für sie keine Nahrung bieten. Denn sie fliegen oft so nahe an ihnen vorbei, daß eine Wahrnehmung durch den Gesichtssinn zweifellos erfolgen mußte.

Dazu kommt allerdings auch noch eine Erscheinung, die wenigstens in einzelnen Fällen zur Erklärung der Tatsachen heranzuziehen ist, daß manche Blüten nur von bestimmten Insekten besucht werden. Ganz abgesehen davon, daß manche Blüten sich nur zu bestimmten Tageszeiten öffnen, in denen wieder bestimmte Insekten fliegen, oder sich so aufrichten, daß sie augenfällig werden, gibt es auch Blüten, die nur oder doch vorwiegend zu ganz bestimmten Tageszeiten duften. Am auffälligsten ist dies unter unsern einheimischen Pflanzen beim Geißblatt der Fall; in der glühenden Sonnenhitze merkt man kaum etwas von Duft, und man muß schon sehr nahe an die Blüten herangehen, um ihn wahrzunehmen; in der Dämmerung dagegen, namentlich an schwülen Abenden, können wir auf sehr große Entfernungen hin den Duft einer blühenden Geißblattlaube wahrnehmen, namentlich, wenn ein leiser Luftzug ihn zu uns herträgt. Deshalb wird auch die Blüte des Geißblattes hauptsächlich nur von Schwärmern besucht, die in der Abenddämmerung fliegen. Ebenso gibt es zahlreiche von Nachtschmetterlingen besuchte Blüten, die nur nach Eintritt der Dämmerung duften, wie die Nachtschmetterling und besonders die bei uns verbreitete Nachtschmetterling (Silene nutans).

VIII. KAPITEL

Gegenseitige Anpassung von Blumen und Insekten in der Gestalt

Die große Fülle der Blütenformen läßt es von vornherein wahrscheinlich erscheinen, daß der Honig nicht in allen in gleicher Weise zu erlangen ist; der lange Sporn der Geißblattblüte setzt einen vielmal längeren Rüssel voraus, als die flachliegenden Nektarien einer Hahnenfußblüte. Deshalb wird auch nur eine

beschränkte Anzahl von Insekten imstande sein, aus der Geißblattblüte Honig zu saugen, während andere, auch wenn sie den Versuch machen, keinen Erfolg haben. Sie werden deshalb solche Blüten, die ihnen keine Nahrung liefern, bald aufgeben und nicht mehr besuchen. Ebenso sind alle Blüten, deren Zugang zu den Honigbehältern in irgendeiner Weise verschlossen sind, nur einem Teil der Insekten lohnend, andere verstehen oder vermögen es nicht, sich diesen Zugang zu verschaffen.

Ein Beispiel dafür bieten manche Rachenblütler, so die überall verbreitete *Linaria vulgaris*, Leinkraut, auch das Löwenmaul (*Antirrhinum*). Die untere Lippe der Blüte wölbt sich so weit in die obere Hälfte vor, daß sie den Eingang in das Innere vollständig verschließt. Leichte Insekten werden sich vergeblich bemühen, einen Eingang zu den Nektarien zu gewinnen; wenn sich aber

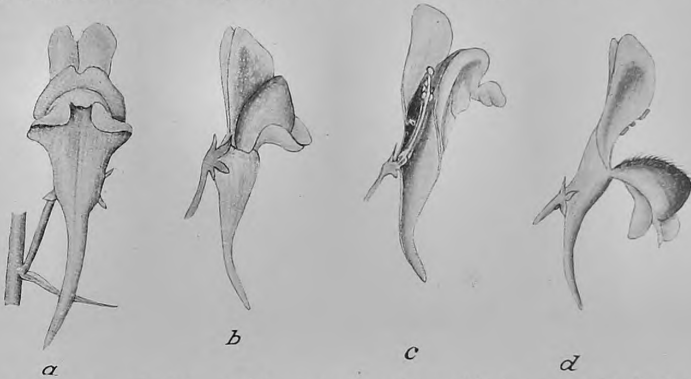


Fig. 26. Blüte des gewöhnlichen Leinkrautes, schwach vergrößert. *a* von vorn; *b* von der Seite; *c* von der Seite durchschnitten, alle drei geschlossen; *d* von der Seite mit heruntergedrückter Unterlippe, geöffnet

eine schwere Hummel auf die Unterlippe setzt, so klappt diese herunter, und der Eingang zum Blütengrunde wird frei. Es werden also nur schwere Insekten auch für die Übertragung des Pollens in Frage kommen.

Weit häufiger noch als durch solche besondere Einrichtungen wird eine Auslese unter den Blütenbesuchern dadurch erreicht, daß die Blüten verschiedener Pflanzen zu sehr verschiedenen Tages- und Nachtzeiten geöffnet sind, während sie sich zu andern Zeiten schließen und so den Insektenbesuch unmöglich machen. Es gibt aber auch viele (ephemere) Blüten, die überhaupt nur während einiger Stunden blühen, sich dann schließen, um nicht mehr aufzublühen. Bei allen diesen Blüten kommen natürlich nur solche Insekten für die Übertragung des Pollens in Betracht, die während dieser Zeit fliegen. Für die Blüten des Geißblattes, welche zwar auch am Tage geöffnet sind, aber nur von der Dämmerung an duften, sind ausschließlich die langrüsseligen Dämmerungsfalter oder Schwärmer die Pollenüberträger, weil andere abends und nachts fliegende Insekten nicht ausreichend lange Rüssel haben, um bis zu den Nektarien zu gelangen, und deshalb die Blüten auch gar nicht erst besuchen.

In der Nacht öffnen sich die Blüten einiger Pflanzen, um sich am Morgen wieder zu schließen; die Zahl derselben ist freilich gegenüber den am Tage blühenden Arten keine große, doch auch in unserer Flora sind einige vorhanden, so besonders die Nachtlitnelke (*Silene nutans*). Sie öffnet sich erst nach Sonnenuntergang und haucht dann einen äußerst angenehmen hyazinthenartigen Duft aus, während sich die Blüten bei Tagesanbruch schließen und tagsüber vollkommen duftlos sind. Sie werden deshalb auch der Hauptsache nach von Nachtfaltern, und unter diesen wieder am meisten von den kleinen Eulenarten besucht. Auch die wundervollen Blüten der Königin der Nacht (*Cereus grandi-*



Fig. 27. Schwärmer, an den Blüten des Geißblattes saugend

florus), einer bei uns nicht gerade häufig zur Blüte kommenden Kaktusart, öffnen sich erst im Dunkeln, etwa gegen 9 Uhr und schließen sich schon wieder am frühen Morgen zwischen 2 und 3 Uhr, noch ehe ein Strahl des Tageslichtes sie getroffen hat.

Ebenso wie es Pflanzen gibt, die nur des Nachts blühen, gibt es auch solche, deren Blüten sich nur zu bestimmten Stunden am Tage öffnen und zu ebenso bestimmten Stunden wieder schließen. Nach dem Aufblühen hat Linné für Upsala eine Blumenuhr aufgestellt, aus welcher folgende Beispiele hier angeführt sein mögen:

Es öffnen sich die Blüten von:

Tragopogon pratense zwischen 3 und 5 Uhr morgens und schließen sich zwischen 9 und 10 Uhr morgens.

Hemerocallis fulva um 5 Uhr morgens und schließen sich zwischen 7–8 Uhr nachmittags.

Taraxacum officinale zwischen 5 und 6 Uhr morgens und schließen sich zwischen 8 und 10 Uhr nachmittags.

Sonchus arvensis zwischen 6 und 7 Uhr morgens und schließen sich um 10 Uhr nachmittags.

Anagallis arvensis um 8 Uhr morgens.

Calendula arvensis um 9 Uhr morgens und schließen sich um 12 Uhr nachts.

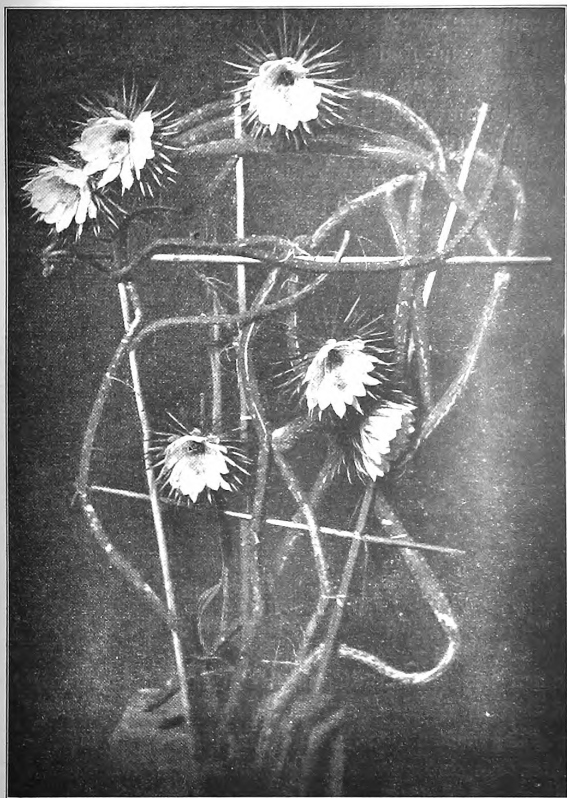


Fig. 28. *Cereus grandiflorus*, Königin der Nacht, in Blüte

Mesembryanthemum nodiflorum zwischen 10 und 11 Uhr morgens und schließen sich um 3 Uhr nachmittags.

Nyctago hortensis um 5 Uhr nachmittags.

Geranium triste um 6 Uhr nachmittags.

Silene noctiflora zwischen 9 und 10 Uhr nachmittags.

Daß die weitaus meisten Blüten in der Nacht geschlossen sind, mögen sie nun überhaupt nur wenige Stunden eines Tages oder mehrere Tage blühen, hat noch einen weiteren Vorteil für die Pflanzen. Der Blütenstaub ist, wie früher

erwähnt, sehr empfindlich gegen Nässe, und der starke Tau, der oft während der Nacht fällt, würde ihm in vielen Fällen gefährlich sein, er würde, auch wenn die Insekten ihn noch zur Nahrung brauchen könnten, doch nicht mehr zur Befruchtung der Blüten dienen können. Daß aber die verschiedenen Pflanzen ihre Blüten zu so verschiedenen Zeiten öffnen und schließen, ist wohl der Hauptsache nach nur daraus zu erklären, daß eben diese Zeit gerade für die Befruchtung der betreffenden Art besonders günstig ist, weil die hauptsächlich die Befruchtung vermittelnden Insekten zu dieser Zeit fliegen, während durch das Schließen der Blüten am Ende der Tageszeit der Besuch unwillkommener Insekten verhindert werden soll. Allerdings spielen auch noch andere Verhältnisse dabei eine Rolle, die zum Teil in den folgenden Kapiteln eine Erklärung finden.

Ein anderes sehr allgemein verbreitetes Mittel vieler Blüten, nur eine Auswahl von Insekten zum Blütenbesuch zuzulassen, andere dagegen auszuschließen

oder ihnen der Zugang doch zu erschweren, ist die Stellung der Blüte. Auch hier sind, wie fast überall, die fleißigsten Blütenbesucher, die also am meisten zur Pollenübertragung beitragen, wie Hummeln und Bienen am meisten begünstigt. Unsere blauen Glockenblumen haben während des Blühens meist etwas schräg herabhängende Glocken, welche nur von den Insekten reichlich besucht werden, die von untenherauf anfliegen können, was den obengenannten leicht möglich ist. Sie finden besonders in

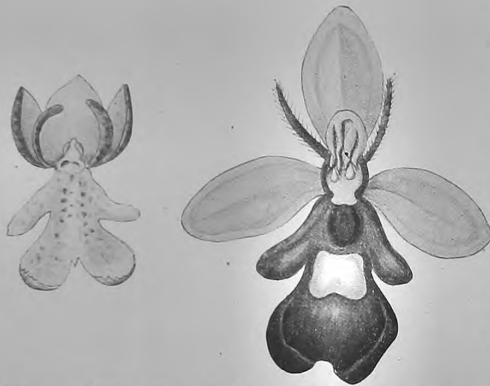


Fig. 29. Blüten von 1 *Orchis fusca*; 2 *Ophrys muscifera*, schwach vergrößert

dem Griffel einen bequemen Stützpunkt, den sie umklammern, um allmählich weiter hineinzuklettern, bis sie die Nektarien erreichen können, wobei sie sich mit Pollen beladen. Fliegenarten dagegen findet man kaum jemals als Besucher solcher hängender Blüten; sie sind gewöhnt, sich von obenher auf die geöffneten Blüten niederzulassen, würden also bei den Glockenblumen den Eingang nicht finden.

Eine Anzahl Insekten, besonders Schwärmer, Schwebefliegen, auch manche Eulenarten saugen den Honig aus den Blüten, ohne sich auf diese niederzulassen, indem sie sich mit eigentümlichem Flügelschlag schwebend vor ihnen aufhalten. Die meisten von ihnen sind sehr scheu und vorsichtig, leicht zu verjagen und gewandte Flieger. Viele andere Insekten dagegen müssen sich auf den Blüten niederlassen, um die Schätze ausbeuten zu können; sie sind meist erheblich weniger gewandt, schwerfälliger, weniger scheu als die der vorigen Gruppe. Für sie ist ein Stützpunkt, auf dem sie beim Anfliegen bequem festen Fuß fassen können, besonders angenehm, während Schwebefliegen und Schwärmer keinen solchen Stützpunkt brauchen.

Solche Anflugsplätze, besonders für Bienen und Hummeln, haben nun eine große Anzahl von Blüten, und zwar in sehr verschiedenem Grade der Ausbildung in bezug auf Form und Farbe. Meist nicht sehr abweichend in der Farbe, aber bequem und deshalb auch regelmäßig benutzt ist das Schiffchen vieler Schmetterlingsblüten. Schon sehr mannigfach gestaltet und gezeichnet sind die Anflugsplätze bei vielen Orchideenblüten. Hier ist es gewöhnlich das lippenartig gestaltete Blatt der Blüte, welches durch auffallende Färbung und Zeichnung zum Niederlassen lockt, und ähnlich, nur meist weniger auffallend, sind bei vielen andern Blüten Einrichtungen vorhanden, die den anfliegenden Insekten ein bequemes Niederlassen an passender Stelle ermöglichen. Das ist namentlich notwendig bei allen Blüten, deren Öffnung seitlich oder nach unten gerichtet ist, während die oben offenen solcher Vorrichtungen nicht bedürfen, weil sich die anfliegenden Insekten überall ohne Schwierigkeiten niederlassen können.

Alle Blüten aber, deren Besuch von Insekten erfolgt, die schwebend Honig saugen, zeigen solche Anflugsplätze nicht, von unseren Pflanzen am deutlichsten wohl die Blüte des Geißblattes. Hier würde es einer Hummel gar nicht leicht werden, überhaupt auch nur zu der oberen Öffnung der Kronröhre zu gelangen.

Soweit reicht nun das Entgegenkommen der Blüten gegenüber den Bedürfnissen der Insekten. Da sie aber nicht bloß Insekten anlocken, um ihnen Nahrung zu geben, sondern damit diese den Blütenstaub auf die Narben anderer Blüten übertragen, was die Insekten nicht freiwillig tun, müssen auch Einrichtungen vorhanden sein, die diese Übertragung nach Möglichkeit befördern.

Am einfachsten gestaltet sich diese Pollenübertragung bei den an Blütenstaub besonders reichen „Pollenblüten“, die nur von Insekten besucht werden, die auch Pollen einsammeln oder Pollen verzehren, wie Bienen, Hummeln, manchen Fliegen und Käfern. Die beiden letzteren besuchen die Blüten allerdings nur, um den Pollen in der Blüte selbst zu verzehren, sie sammeln nicht ein, können aber nichtsdestoweniger ebenfalls zur Pollenübertragung beitragen, wenn auch nicht in demselben Maße wie die ersteren. Bei ihrem Herumkriechen zwischen den Staubblättern werden sie in pollenreichen Blüten über und über mit Blütenstaub bedeckt, und es bleibt immer so viel Blütenstaub an ihnen hängen, daß sie, eine andere Blüte besuchend, eine Anzahl Pollenkörner auf den Narben abstreifen. So sieht z. B. der Landwirt eine mäßige Anzahl jener kleinen schwarzen Käferchen, welche sich in den Blüten des Rapses einfinden und daher Rapskäfer genannt werden (*Meligethes aëneus*), nicht ungern, weil sie, hauptsächlich von Blütenstaub lebend, viel zur Befruchtung beitragen. Treten sie freilich in großer Masse auf, so werden sie unter Umständen sehr schädlich, nicht nur, weil sie



Fig. 30. Pollenblüte der Rose

dann auch junge Blütenteile angreifen und zerstören, sondern weil sie auch so viel Blütenstaub verzehren, daß die Befruchtung eine unvollkommene ist.

Bienen und Hummeln sind jedenfalls auch hier die geeignetsten Überträger des Pollens, denn sie gehen nicht bloß darauf aus, den Pollen in der Blüte selbst zu verzehren und sich dann, etwa wie die Käfer, sattgefressen in der Blüte auszuruhen, sondern sie fliegen von Blüte zu Blüte, um den Pollen einzusammeln und nach Hause zu tragen, halten sich also nirgends lange auf, durchwühlen und durchkriechen dagegen die Blüte viel lebhafter und pudern sich deshalb auch viel stärker ein als die trägen Käfer. Sie besuchen auch hintereinander zahlreiche Blüten derselben Pflanzenart und streifen dabei einen Teil des Pollens auf den Narben anderer Individuen derselben Art ab, während sie sich mit neuem beladen. Allerdings kommt dabei auch viel Pollen in die Blüten anderer Pflanzen, wo er ohne seinen Zweck zu erfüllen, zugrunde geht. Aber dafür ist ja auch der Reichtum an Pollen ein so großer, daß dieser Ausfall wenig in Betracht kommt. Außerdem wird man bei aufmerksamer Beobachtung

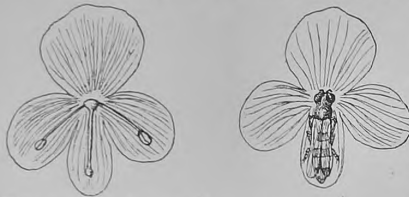


Fig. 31. Zwei etwas vergrößerte Blüten des Ehrenpreis. Auf der Blüte rechts hat sich eine kleine Schwebfliege niedergelassen, dabei die Staubblätter mit den Füßen ergriffen und sich unter dem Bauch zusammengeschlagen

wahrnehmen, daß eine Biene oder Hummel fast regelmäßig unter verschiedenen durcheinander wachsenden, blühenden Pflanzenarten zuerst die Blüten der einen Art, wenn auch verschiedener Individuen, besucht, ehe sie zu der anderen Pflanzenart übergeht. Hierdurch wird ebenfalls bis zu einem gewissen Grade einer nutzlosen Verzettlung des Pollens gesteuert.

Anders gestalten sich die Verhältnisse bei Blüten, die nicht über so großen

Pollenreichtum verfügen und die daher mit dem Blütenstaub haushälterisch umgehen müssen. Sie werden auch von den Insekten meist des Honigs wegen besucht, und Bienen und Hummeln wälzen sich nicht so zwischen den Staubblättern und Narben umher, daß überall Pollenkörner haften bleiben und auf die nächsten Blüten verschleppt werden. Wir finden hier vielfach besondere Einrichtungen, den Pollen an bestimmte Körperteile des Insekts zu bringen, von welchen ihn dann die Narben anderer Blüten derselben Pflanzenart aufnehmen, können.

Der einfachste Fall dieser Art tritt uns bei den Korbblütlern entgegen. Hier müssen die Insekten, ähnlich wie in den Pollenblüten, sich auf dem Blütenköpfchen viel umherbewegen, um aus den zahlreichen Einzelblüten den Honig zu saugen; sie streifen dabei mit ihrer ganzen Unterseite die Antheren ab und beladen sich mit Pollen, den sie am nächsten Blütenköpfchen an die Narben wieder abgeben. Auf der Unterseite, und zwar an ganz bestimmten Stellen des Hinterleibes, wird auch der Blütenstaub vieler Ehrenpreisarten (*Veronica*) abgeladen. Die beiden Staubblätter der Blüte stehen hier schräg nach unten, während zwischen ihnen der Griffel liegt; alle drei sind dem etwas vergrößerten unteren Lappen der Blumenkrone sehr genähert. Der Gamanderehrenpreis (*Veronica chamaedrys*) trägt seine lichtblauen Blüten oft in so großer Zahl, daß sie sich für das

Auge schon in weiter Entfernung von dem dunkelgrünem Grunde abheben (Fig. 32). An solchen Stellen kann man, besonders in den Mittagsstunden zarte Schwebfliegen beobachten, die sich eine Zeitlang schwebend vor den Blüten aufhalten, dann aber sich niederlassen, indem sie mit den Beinen die etwas vorstehenden Staubfäden umklammern. Die zarten Staubblätter setzen diesem Druck nur einen geringen Widerstand entgegen und klappen zusammen, dabei eine bestimmte Stelle des Unterleibes berührend, welche bei dem Anfliegen auch von der Narbe des Griffels berührt wird. Dabei wird ein Teil des Pollens aus den Antheren auf das Insekt abgeladen und auf die nächste Blüte verschleppt, wo sich der Vorgang wiederholt, aber auch, bei entsprechender Entwicklung des Griffels, auf die Narbe übertragen wird.

Von ähnlichen Einrichtungen, die dazu dienen, den Blütenstaub auf die Unter-



Fig. 32. Gruppe des Gamanderehrenpreises in voller Blüte

seite des besuchenden Insektes abzuladen und die sehr mannigfaltig sind, seien hier noch diejenigen der Schmetterlingsblütler erwähnt. Bei ihnen ist allerdings der Mechanismus ziemlich verschieden und schon recht kompliziert. Es wurde bereits erwähnt, daß das Schiffchen ein sehr bequemer Anflugspunkt für die Insekten ist, und in der Tat wird er auch fast von allen Insekten, die der Blüte einen Besuch abstatten, dazu benutzt. Oft legen sich aber die beiden Seitenblättchen der Krone, die Flügel, noch über das Schiffchen, sie sind sogar nicht selten durch eine falzartige Rinne, in welche eine Rippe des Schiffchens paßt, mit diesem gewissermaßen verschränkt, und ein Druck auf die Flügel teilt sich dem Schiffchen hierdurch mit. Die Staubblätter umgeben den Griffel röhrenartig und stecken mit diesem im Schiffchen; etwa ausfallender Pollen fällt in das äußerste röhrenförmig hohle Ende des Schiffchens. Setzt sich nun ein schwereres Insekt auf eine Schmetterlingsblüte, so wird durch den Druck der Flügel auf das Schiffchen dieses letztere in der Mitte heruntergezogen, verkürzt, während auf Staubblätter

und Stempel, die lose im Schiffchen liegen, der Druck nicht wirkt, sie also gleich lang bleiben. Die Folge davon ist, daß zunächst Antheren und Stempel mehr nach dem Ende des Schiffchens zu verschoben werden und daß aller etwa hier abgelagerter Pollen wie durch einen Stempel herausgedrückt wird. Der herausgetretene Pollen wird dabei an die Unterseite des Hinterleibes der angeflogenen Biene oder Hummel gedrückt und bleibt hier infolge seiner klebrigen Beschaffenheit hängen. Ist die Narbe der Blüten bereits aufnahmefähig für Pollen, so ist der Griffel etwas verlängert und wird durch denselben Prozeß aus der Mündung des Schiffchens vorgedrückt und berührt den Bauch des Insektes an derselben Stelle, an welcher von einer anderen Blüte vorher der Pollen abgeladen worden war; auf der klebrigen Narbenoberfläche bleibt dann ein Teil des mitgebrachten Pollens hängen.

Man hat diese Einrichtung der Schmetterlingsblüten mit einer Art Pumpwerk verglichen, und in der Tat erinnert dieser Vorgang sehr an die Funktion einer Pumpe, die durch das auffliegende Insekt in Tätigkeit gesetzt wird und den Blütenstaub aus dem Schiffchen auf die Unterseite des Insektes pumpt. Der Vor-

gang ist bei vielen unserer Schmetterlingsblütler, so bei Lupinen, bei der Kronenwicke, beim Hornklee und vielen anderen zu beobachten, und wenn man mit einer Pinzette etwas vor der Mitte der Flügel diese sanft herabdrückt, so läßt sich stets am offenen Ende des Schiffchens eine kleine Menge Blütenstaub, oder, wenn dieser



Fig. 35. Blüte von *Sarothamnus scoparius*, links vor, rechts nach dem Besuch durch eine Hummel

schon verbraucht ist, die Narbe mit einem kurzen Stück des Griffels hervorpressen.

Aber nicht alle Schmetterlingsblütler zeigen eine solche Einrichtung, bei anderen ist vielmehr ein eigentümliches Schlagwerk vorhanden, durch welches der Blütenstaub auf die Unterseite des angeflogenen Insektes befördert wird, z. B. bei den Ginster- und Besenginsterarten (*Genista*, *Sarothamnus*). Bei den gelben Blüten des Besenginsters sind die viel weniger weit miteinander verwachsenen und deshalb oben weiter auseinander stehenden Staubblätter zwar ebenfalls im Schiffchen verborgen, aber das auffliegende Insekt übt infolge der veränderten Bauart des Schiffchens eine ganz andere Wirkung aus. Die Flügel werden seitlich an dem Schiffchen vorbeigedrückt und die Ränder des Schiffchens durch das Insekt auseinandergedrückt. Dadurch vermögen die Staubblätter, die vorher nur durch den Zwang des zusammenneigenden Schiffchens nach unten gehalten waren, sich plötzlich aus dieser Zwangslage im Schiffchen zu befreien und schlagen nun mit einer gewissen Kraft gegen den Hinterleib der Insekten, die dabei mit Blütenstaub ganz eingepudert werden. Die einmal vorgeschnellten Staubblätter bleiben dann auch außerhalb des Schiffchens stehen, und man kann dadurch sofort konstatieren, welche Blüte schon von einem schwereren Insekt, Biene oder Hummel, besucht wurde. Auch hier ist der Pollen in dem Schiffchen so lange gegen schädliche Einwirkungen geschützt, bis ein für die Übertragung besonders

geeignetes Insekt die Blüte besucht, denn dieses besucht dann natürlich auch noch andere Blüten, in denen die empfängnisfähige Narbe an denselben Stellen den Körper berührt, an denen vorher der Pollen abgeladen war. Es wird aber durchaus nicht etwa aller Pollen bei diesem ersten Anschlagen an den Insektenkörper verausgabt, obwohl jedenfalls diese erste Einpuderung die wirksamste ist. Kann man an einem sonnigen Morgen den Vorgang direkt in der Nähe beobachten, so sieht man, daß die Hummel nach dem Anschlagen der Staubblätter auf der ganzen Unterseite wie gelb bestäubt aussieht und damit unzählige Pollenkörner auf ihrer Weiterreise mit sich fortnimmt. Es bleibt aber immer noch viel Pollen übrig, um auch spätere Besucher damit zu beschenken. Dann sind es aber nicht bloß die schweren Insekten, die sich mit dem Blütenstaub beladen, denn die Staubblätter stehen jetzt frei und ziemlich durcheinander in der Blüte, so daß jedes zu den Nektarien strebende Insekt beim Niederlassen auf der Blüte mit seiner Unterseite die Antheren berührt und sich mit Pollen beladet.

Sehr häufig nimmt auch der Rücken der Insekten den Blütenstaub auf, ganz allgemein z. B. bei den Lippenblütlern, deren vier Staubblätter unter der Oberlippe verborgen sind. Eine Biene oder Hummel, welche z. B. zu dem Nektar im Grunde der ziemlich langen Kronröhre der weißen Taubnessel gelangen will, muß sich so tief hineinbiegen, daß der Rücken mit den Staubbeuteln in Berührung kommt und Pollen aufnimmt; in anderen Blüten wird dann ein Teil des Pollens an die Narben, die zwischen den Staubbeuteln stehen, abgegeben.

Manche Labiaten haben aber noch ganz besonders komplizierte Einrichtungen für die Übertragung des Blütenstaubes, und unter diesen ist wieder *Salvia glutinosa* am eigentümlichsten entwickelt. Wie alle Salbeiarten, hat auch diese nur zwei Staubblätter, die jedoch in abweichender Weise ausgebildet sind. Der eigentliche Staubfaden ist nämlich nicht direkt in der Blüte angewachsen, sondern etwas oberhalb des unteren Endes durch eine Art Gelenk mit einem festen Träger verbunden,

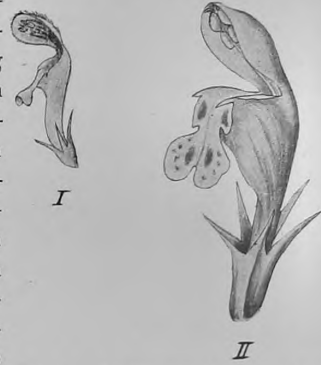


Fig. 34. I Blüte von *Lamium album*, natürliche Größe. II Blüte von *Lamium purpureum*, 5 fach vergr.



Fig. 35. Blüte der Salbei im Längsschnitt, um das Schlagwerk (den Hebelapparat) des Staubblattes zu zeigen

wodurch er den Charakter eines zweiarmigen Hebels erhält. Außerdem ist der Staubfaden so gebogen, daß er der Wölbung der Oberlippe folgt und sowohl die Antheren wie der untere kürzere Hebelarm nach vorn gerichtet sind. Besucht nun ein größeres Insekt, eine Biene oder Hummel, die Blüte, so wird es beim Vorkriechen gegen den Blütengrund den unteren Hebelarm zurückstoßen und dadurch bewirken, daß der obere Hebelarm nach vorn und unten sich bewegt und den Rücken des Insektes mit den Antheren berührt. Die Antheren schlagen mit einem gewissen Ruck auf den Körper des Insektes auf und laden dabei den Pollen ab. In anderen Blüten, die keinen Pollen mehr besitzen, hat sich inzwischen der Griffel mit der Narbe so verlängert, daß diese den Rücken des besuchenden Insektes berührt und den dort abgelagerten Pollen aufnimmt.

Auch die Blüten der Schwertlilien zeigen einen eigentümlichen Bau, der eine Ablagerung des Pollens auf dem Rücken der Blütenbesucher, hauptsächlich Hummeln, bedingt. Von den sechs Perigonblättern der Blüte sind drei aufwärts gerichtet und drei herabgeschlagen; die letzteren zeigen einen in der Farbe oft deutlich von der des übrigen Blattes abweichenden, behaarten Streifen, der die Hummeln zum Niederlassen einlädt und direkt den Weg zu den Nektarien zeigt. Bei den meist blauen oder violetten Blumenblättern der Schwertlilien ist dieser Streifen gewöhnlich leuchtend gelb, also grell verschieden. Die Hummel wandert denn auch diesen Streifen entlang in das Blüteninnere, muß aber auf diesem Wege sowohl Staubblätter, wie Narben mit ihrem Rücken berühren. Die Narben haben eine eigentümliche Gestalt, sie sind blattartig verbreitert, löffelförmig hohl und enden oben in zwei gesägte Zipfel, die sich zur Zeit der Empfängnisreife so nach außen wenden, daß sie den Rücken der anfliegenden Hummeln abstreifen und so die Pollenkörner aufnehmen. In der Höhlung der Narben, auf der Unterseite verborgen, liegt aber das Staubblatt, und wenn die Hummel sich nach den Nektarien tief hineinbiegt, muß sie mit ihrem Rücken die Antheren berühren und sich mit Pollen beladen. Daß aber die Hummeln, die ja hier ganz unfreiwillig die Übertragung des Pollens bewirken, stets nur von Stellen aus zu den Nektarien gelangen, an denen sie sich mit Pollen beladen, dafür sorgt der ganze Blütenbau, besonders auch der auffallende Bartstreifen, der direkt unter Anthere und Narbe liegt und die Insekten zum Niederlassen anlockt.

Auch der Kopf der Insekten muß vielfach herhalten, um den Pollen der einen Blüte aufzunehmen und ihn auf die Narben einer anderen abzuladen. Bei der Nachtkerze, deren langröhrlige Blüten hauptsächlich nur von Schmetterlingen besucht werden, berühren diese beim Saugen des Nektars Antheren und Narben mit dem Kopf, nehmen Pollen auf und übertragen ihn auf die nächste Blüte. Ganz merkwürdig ist aber die Einrichtung der Pollenübertragung bei vielen Orchideen, namentlich auch bei den überall im Frühjahr auf Wiesen und grasigen Stellen wachsenden Knabenkräutern. Wohl die verbreitetsten unter ihnen sind *Orchis latifolia* und *maculata*. Betrachten wir eine eben geöffnete Blüte der letzteren, so fällt uns sofort eines der sechs Blätter der Blütenhülle durch seine abweichende Form auf; es ist das obere des inneren Kreises, durch die Drehung der Blüte aber nach unten gerichtet, lippenförmig und meist in eigenartiger Weise

gefleckt, so daß es sofort die Insekten aufmerksam macht und zum Niederlassen auffordert. Nach Staubblättern, ähnlich denen anderer Blüten, sehen wir uns vergeblich um; in der Tat sind auch die Staubblätter bis auf ein einziges verloren gegangen, und dieses eine ist noch dazu in so eigentümlicher Weise mit dem Griffel verwachsen, daß es erst gesucht werden muß. Es sind nur zwei Pollenschläuche vorhanden, und der in ihnen enthaltene Pollen ist zu einer keulenförmigen, wachsartigen Masse verklebt, dem Pollinarium, welches in einem kleinen Behälter

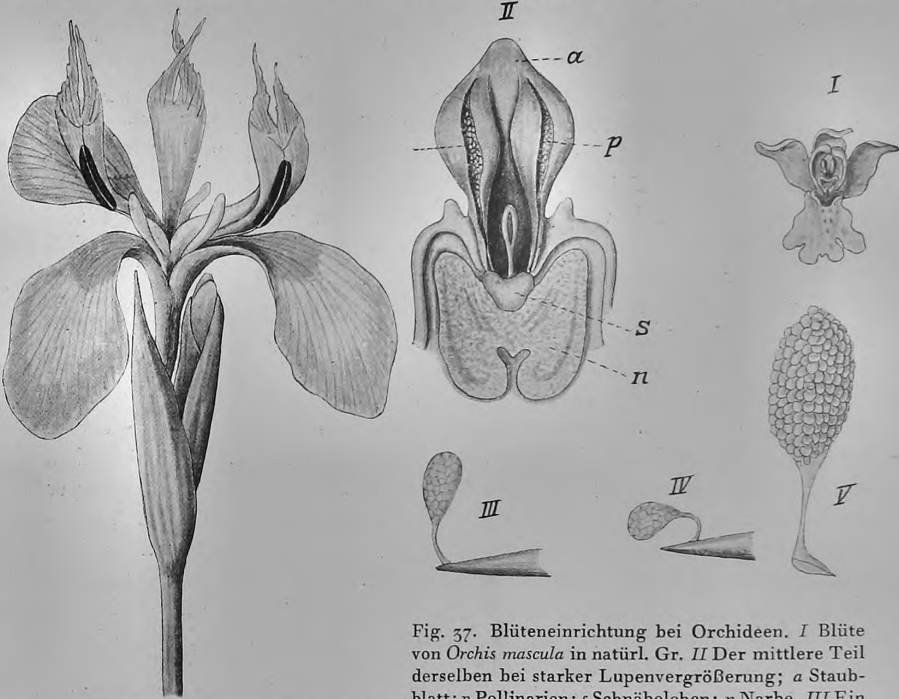


Fig. 36. Blüte von *Iris Pseudacorus*. Die dunkelfarbenen Staubbeutel liegen direkt den blattförmigen Narben an

Fig. 37. Blüteneinrichtung bei Orchideen. I Blüte von *Orchis mascula* in natürl. Gr. II Der mittlere Teil derselben bei starker Lupenvergrößerung; *a* Staubblatt; *p* Pollinarien; *s* Schnäbelchen; *n* Narbe. III Ein mit einer Bleistiftspitze herausgeholtes Pollinarium, schwach vergr. IV Dasselbe einige Minuten später. V Pollinarium von *Platanthera bifolia*, stärker vergr.

verdeckt liegt und unten in ein aus erhärtetem Schleim gebildetes Stielchen ausläuft. Diese Stielchen enden dicht an dem Narbenfleck und sind an ihrem unteren freien Ende klebrig. Berührt man dieses Ende mit der Bleistiftspitze oder einem feinen Hölzchen, so haften sie daran fest, und man kann sie mitsamt den Pollinarien aus ihren Behältern hervorziehen. Anfangs sind die Stielchen gerade, bald aber trocknen sie in der freien Luft zusammen, krümmen sich und die Pollinarien biegen sich nach abwärts.

Besucht nun eine Biene die Blüte einer Orchidee, so muß sie, um zu den Nektarien gelangen zu können, den Kopf da anlegen, wo die Stielchen der Pollinarien ausmünden; diese kleben fest und werden von den Bienen herausgezogen. Man

kann in Gegenden, wo diese Orchisarten in großen Mengen vorkommen, zur Blütezeit nicht selten Bienen beobachten, deren ganzer Kopf über und über mit solchen Pollinarien bedeckt ist, schließlich in so hohem Grade, daß das Sehvermögen und die Flugfähigkeit nicht unbeträchtlich beschränkt wird, und viele Bienen den heimatlichen Stock nicht erreichen. Ehe man den Zusammenhang kannte, betrachtete man diese Erscheinung als eine besondere Krankheit (Hörnerkrankheit) der Bienen.

Hat die Biene sich mit den Pollinarien einer Orchisblüte beladen, so krümmen sich diese ebenso wie am Bleistift sehr bald abwärts und kommen dadurch in eine Lage, in welcher sie beim Besuch der nächsten Orchideenblüte auf den Narbenfleck aufgepreßt werden. Dabei wird ein kleiner Teil der wachsartigen Pollenmasse auf der Narbe zurückgelassen, seltener bleibt das ganze Pollinarium daran haften. Aber nicht bei allen unseren heimischen Orchideen ist die gleiche Einrichtung vorhanden, bei einigen sind keine Pollinarien vorhanden, sondern lockere, nur in Tetraden (zu je vier) vereinigte Pollenkörner. Komplizierte und in sehr mannigfacher Weise variierende Blüteneinrichtungen sind bei vielen tropischen Orchideen zur Entwicklung gelangt.

In seltenen Fällen werden von den Staubblättern auch aktive Bewegungen ausgeführt, um die blütenbesuchenden Insekten mit Pollen zu beladen. Von unseren heimischen Pflanzen zeigt die Berberitze oder der Sauerdorn (*Berberis vulgaris*) am deutlichsten diese Erscheinung. Die sechs Staubblätter liegen in den schalenförmigen, leicht hohlen Blütenblättern verborgen; werden sie am Grunde berührt, so zeigen sie sich in hohem Grade reizempfindlich, sie krümmen sich, oft fast ruckweise nach der Mitte der Blüte zu, wo sie meist an den Vorderkörper des Insektes anschlagen und dort einen Teil des Blütenstaubes ablagern. Nun besitzt *Berberis* aber in Trauben hängende Blüten; die anfliegenden Insekten greifen mit den Füßen nach den Staubfäden, um sich in der Blüte festzuhalten und müssen hierbei und auch bei dem Aussaugen der Nektarien mit ihrem Rüssel die reizempfindlichen Stellen der Staubblätter berühren, während sie beim Besuch anderer Blüten die Pollenkörner auf die Narben abstreifen.

Unter den überaus mannigfaltigen Einrichtungen, die zum Beladen der Insekten mit Pollen dienen, sei zum Schluß noch ein Beispiel aus einer Gruppe von Blüten erwähnt, bei denen die Antheren wie Streubüchsen fungieren. Sie sind ziemlich verbreitet und eine der verbreitetsten der hierher gehörigen Pflanzen ist eine Wintergrünart, *Pirola secunda*. Die Blüten sind kurz gestielt, hängend, mit der Öffnung nach unten; die Staubblätter besitzen einen schwanenhalsartig gekrümmten Staubfaden und mit endständigen Löchern sich öffnende Antheren. Durch die Kronblätter werden die Antheren aber in einer Lage gehalten, daß die Öffnung infolge des gekrümmten Fadens nach oben gerichtet ist, und diese Richtung wird beibehalten, bis ein Insekt die Blüte besucht und durch seine Bewegungen die Kronblätter auseinanderbiegt. Dann streckt sich der künstlich gespannte Staubfaden gerade, die Öffnung der Antheren richtet sich abwärts und das Insekt wird mit Blütenstaub überstreut.

In allen diesen Fällen sind die Pflanzen weit mehr auf die Insekten angewiesen

und haben sich in viel höherem Grade an diese angepaßt, als umgekehrt; es sind aber auch Fälle bekannt, in denen die gegenseitige Anpassung eine so innige geworden ist, daß Pflanze und Tier vollständig aufeinander angewiesen sind, und daß das Aussterben des einen notwendig auch das Verschwinden des anderen zur Folge haben würde. Die beiden merkwürdigsten Beispiele betreffen die Feige und Feigenwespe und die Yucca und Yuccamotte.

Die glockenförmigen Blüten der auch in unseren botanischen Gärten viel gezogenen *Yucca filamentosa* sind für ihre Befruchtung anscheinend ausschließlich auf eine kleine Mottenart *Pronuba yuccasella* angewiesen, denn nur dort, wo die Motte vorkommt, tragen die Pflanzen keimfähigen Samen. Ganz merkwürdig ist aber, wie dieser kleine Schmetterling die Pollenübertragung vollzieht. Die Motte sammelt in einer Blüte den Pollen zu einem Ballen unter dem Rüssel zusammen, fliegt damit zu einer anderen Blüte, legt zuerst in den Stempel der Blüte ihre Eier ab und stopft dann den Pollenballen in die Narbe. Die aus den Eiern kriechenden kleinen Raupen verzehren nur einen Teil der Samenanlagen, jede etwa 18–20, während die anderen Samen reifen. Die Raupen würden aber ihre Nahrung nicht in dem Fruchtknoten finden, wenn die Samenanlagen nicht befruchtet wären, denn erst infolge der Befruchtung wachsen

sie so heran, daß sie genügend Nahrung für die kleinen Raupen liefern und auch noch so viel darüber, daß ein Teil der Samen reifen kann, ohne von den Raupen verzehrt zu werden. Die Yuccamotte sorgt also mit ihrer direkt der Befruchtung der Yuccablüten gewidmeten Tätigkeit einmal für ihre eigenen Nachkommen, dann aber auch für die Fortpflanzung der Yucca, ein Fall, der jedenfalls auch in der an merkwürdigen Erscheinungen so reichen Blütenbiologie einzig dasteht. Bei anderen Yuccaarten werden Pollenübertragungen durch ähnliche Motten und in ähnlicher Weise bewirkt, und es scheint, daß sich bestimmten Yuccaarten auch ganz bestimmte Motten angepaßt haben. Es gibt aber auch eine Yuccaart, *Yucca gloriosa*, bei welcher entweder nur höchst selten oder überhaupt keine keimfähigen Samen vorkommen, wenigstens sind solche bisher nicht beobachtet worden. Vielleicht ist die befruchtende Motte ausgestorben oder so selten geworden, daß sie nur noch vereinzelt eine Rolle bei der Befruchtung spielt und sich die Pflanze von zufälligen und jedenfalls sehr seltenen Befruch-

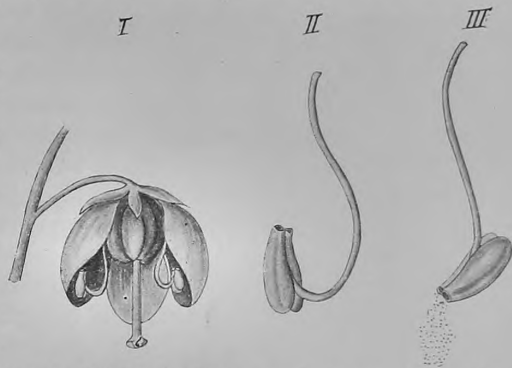


Fig. 38. I Blüte von *Pirola secunda* (vorn geöffnet), in welcher die beiden seitlichen Staubblätter, die noch von den Kronblättern in ihrer ursprünglichen Lage gehalten werden, allein gezeichnet sind (schwach vergrößert). II Ein Staubblatt in der gleichen Stellung (stärker vergrößert), mit noch nach oben gerichteten Öffnungen. III Staubblatt nach Entspannung durch die Kronblätter mit nach unten gerichteten Öffnungen, Pollen austreuend

tungen durch andere Insekten abgesehen, zur Zeit ausschließlich auf vegetative Vermehrung angewiesen sieht.

In anderer Hinsicht ebenso eigentümlich ist das Verhältnis zwischen der Feige und der ihre Befruchtung vermittelnden kleinen Gallwespe, *Blastophaga grossorum*. Die in den Mittelmeerländern überall verbreitete und bei uns zuweilen in Kübeln gezogene Feige (*Ficus carica*) trägt eigentümliche, etwa birnenartige Früchte oder besser Fruchtstände, die in ihrem Jugendzustande innen hohl sind und auf der Innenseite dicht gedrängt kleine Blüten tragen. Die Blüten, teils männlich, teils weiblich, sind sehr einfach gebaut, mit unscheinbarer Blütenhülle; die männlichen oder Pollenblüten nur mit wenigen Staubblättern, die weiblichen

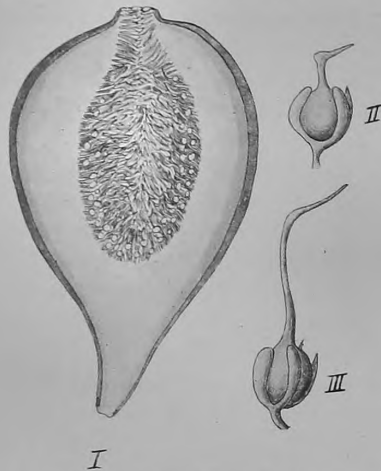


Fig. 39. Feige. I Fruchtstand, der Länge nach durchgeschnitten, mit weiblichen und Gallenblüten, nat. Gr. II Gallenblüte, schwach vergrößert. III Fruchtblüte, schwach vergrößert

oder Fruchtblüten nur aus Fruchtknoten mit Griffel und Narbe bestehend. Eine Anzahl weiblicher Blüten zeigt eine verkümmerte Narbe und verkürzten Griffel, man bezeichnet sie als Gallenblüten. Es gibt bei dem gewöhnlichen Feigenbaum Individuen, die nur weibliche Blüten in den Urnen enthalten; sie werden als *Ficus* von den Individuen unterschieden, die neben weiblichen Blüten im oberen Teil der Urne auch noch männliche Blüten besitzen und die *Caprificus* genannt werden. Der Zugang zu der Höhlung ist sehr eng und kann nur von ganz kleinen Insekten, wie die *Blastophaga*, benutzt werden.

Die befruchteten *Blastophaga*-Weibchen kriechen in eine Urne, deren weibliche Blüten entsprechende Entwicklung erreicht haben und legen nun ihre Eier in die Fruchtknoten ab; sie können aber nur durch das weiche Griffelgewebe ihren Legestachel einführen und müssen sich andererseits die kurzgrifflichen Gallenblüten dazu aussuchen, weil die langgrifflichen Fruchtblüten sich wieder wegen der Länge des Griffels als ungeeignet erweisen. Da sie nun in jede Gallenblüte nur ein Ei legen, so müssen sie bei ihrem Suchen in der ganzen Urne umherwandern und besonders auch über die Narben der Fruchtblüten hinwegklettern. Haftet nun an ihrem Körper Pollen, so wird derselbe bei diesem Umherklettern auf den Narben abgestreift und damit die Befruchtung vollzogen.

Schlüpfen die jungen Gallwespen aus, so wird gewöhnlich noch in der gleichen Urne die Begattung vollzogen und die befruchteten Weibchen suchen den Ausgang, um neue Urnen aufzusuchen. Das ist aber, namentlich in den *Caprificus*-urnen nicht so einfach, und die kleinen Wespen müssen sich zwischen den dicht um die Mündung stehenden Staubblättern hindurchwinden, wobei sie sich über und über mit Pollen einstäuben. Sie bringen also beim Aufsuchen neuer Urnen den

Pollen bereits mit und streifen ihn, wie erwähnt, auf den Narben der Fruchtblüten bei ihrem Umherklettern ab.

Hier ist also eine so innige Anpassung zwischen Pflanze und Tier erfolgt, daß die geschlechtliche Fortpflanzung des einen ohne das Vorhandensein des anderen gar nicht möglich wäre. Die Pflanze bildet sogar ganz bestimmte, nur für die Fortpflanzung des befruchtenden Insektes berechnete Blütenformen aus, die für ihre eigene Fortpflanzung bedeutungslos sind. Selbstverständlich bleibt bei einem so komplizierten Apparat, der auf eine ganz spezifische Form der Pollenübertragung berechnet ist, jede Befruchtung aus, wenn die kleine Gallwespe fehlt, und ebensowenig vermag sich diese fortzupflanzen, wenn ihr keine Feigenbäume zur Verfügung stehen.

Weit seltener sind Fälle, in denen andere Tiere den Pollen übertragen, so die Kolibris, die mit ihrer langen, dem Rüssel der Schwärmer ähnlichen Zunge aus den langröhrigsten Blüten Honig und Kerbtiere hervorholen und auch ähnlich wie Schwärmer, vor den Blüten schwebend, dabei die Antheren berühren, sich mit Pollen beladen und diesen auf den Narben der nächsten besuchten Blüten ablegen. Schon der enge Verbreitungskreis der Kolibris läßt aber diese Form der Pollenübertragung nur auf bestimmte tropische Gebiete beschränkt erscheinen. Bei manchen Aroiden scheinen auch Schnecken häufig eine Pollenübertragung zu bewirken, auch bei unserem Goldmilzkraut (*Chrysosplenium*), doch ist hier die Pollenübertragung wohl mehr eine zufällige.

IX. KAPITEL

Schutzmittel der Blüten gegen ungebetene Besucher

Die Schätze, die die Blüte birgt, reizen auch andere Insekten zum Besuch, Bummler, die gern genießen wollen, aber keine Gegenleistung für das Gebotene übernehmen mögen. Das sind hauptsächlich die verschiedenen flügellosen Formen, die für die Übertragung des Blütenstaubes nicht geeignet sind, weil sie sich mit dem Erklettern eines Blütenstengels begnügen und nicht von Pflanze zu Pflanze wandern. Gegen sie, die den nützlichen Blütenbesuchern die Nahrung wegnehmen und oft sogar schlimme Verwüstungen in den Blüten anrichten, sucht sich die Pflanze in verschiedener, oft sehr eigentümlicher Weise zu schützen.

Am einfachsten geschieht dies dadurch, daß den honigglüsternen Insekten, besonders den Ameisen schon auf dem Wege zur Blüte Honig geboten wird, so daß sie nicht erst in die Blüte zu klettern brauchen, um zu der ersehnten Süßigkeit zu gelangen. Solche honigabsondernde, extraflorale Nektarien sind besonders bei vielen Ameisenpflanzen vorhanden, doch finden sie sich auch bei andern, hauptsächlich außereuropäischen Pflanzenarten, z. B. bei verschiedenen Balsaminen, besonders *Impatiens tricornis*. Daß bei dieser letzteren die an den Nebenblättchen stehenden Nektarien hauptsächlich den Zweck haben, die Ameisen von dem Besuch der Blüten abzuhalten, wird dadurch sehr wahrscheinlich ge-

macht, daß diese Nektarien erst zur Blütezeit mit der Honigabsonderung beginnen. Extraflorale Nektarien sind auch bei einer Anzahl unserer heimischen Pflanzen vorhanden; sie stehen bei der Zaunwicke, *Vicia sepium*, ebenfalls an den Nebenblättern und üben eine große Anziehungskraft auf Ameisen aus.

Weit häufiger ist der Schutz durch irgendwelche, für kriechende Insekten unübersteigliche Hindernisse, und hier hat sich eine große Mannigfaltigkeit der Einrichtungen ausgebildet. Ein überaus einfacher und doch wirksamer Schutz ist z. B. bei den Arten der Gattung *Dipsacus* vorhanden. Hier wachsen die Blattscheiden um den Stengel herum so zusammen, daß sie ein Schüsselchen bilden, welches sich bei jedem Regen mit Wasser füllt, so daß der Stengel rings durch eine Wasserschicht vor kriechenden Insekten geschützt ist. Da sich nun mehrere solche isolierende Wasserbecken übereinander befinden, kann, auch wenn



Fig. 40. *Dipsacus silvestris*, ein verwachsenes Blattpaar, welches um den Stengel ein Wasserreservoir bildet

einer oder selbst mehrere aus irgendeinem Grunde nicht mehr funktionieren, doch immer noch ein hinreichender Schutz gewährt werden. Sehr häufig sind solche Wasserbecken bei Bromeliaceen, und vielfach erheben sich gerade die Blüten derselben aus einer Blattrosette, die ein solches Wasserbecken bildet.

Die größte Mannigfaltigkeit zeigen aber die Einrichtungen, welche auf einem Schutz durch kleb-

rige Stoffe beruhen. Sie werden entweder direkt von der Oberhaut des Pflanzenteils unter der Cuticula abgeschieden oder an besonderen Drüsengebilden, die meist in Form von Haaren entwickelt sind. Bekannt ist besonders die Pechnelke (*Viscaria vulgaris*), die unter den oberen Knoten ringsum klebrige Stengel besitzt, während die unteren Stengelknoten meist ohne solche Klebestoffe sind. Die Wirkung ist ganz dieselbe wie bei einem mit Raupenleim umzogenen Baumstamm; aufkletternde Insekten wagen es gewöhnlich nicht, den gefährlichen Leimring zu betreten, sondern kehren nach vielen fruchtlosen Versuchen wieder um. Versuchen sie es aber dennoch, so bleiben sie an dem zähen Klebstoff gewöhnlich bald hängen und kommen schließlich darauf um. Sehr viele Stengel der Pechnelke zeigen solche festgeklebte Insekten, die ihren Wagemut mit dem Leben bezahlen mußten. Drüsentragende Haare sind bei vielen Pflanzen zum Schutz der Blüten entwickelt; sie stehen entweder an den Kelchblättern oder den Blütenstielen und verhindern ganz in derselben Weise das Aufkriechen von Insekten, wie die gleichmäßigen Überzüge mit klebrigen Stoffen. Seltener sind die ganzen Pflanzen mit solchen Klebstoffe absondernden Drüsen besetzt.

Manche Pflanzen besitzen dicht vor den Blüten eine meist durch einen Wachsüberzug überaus glatte Stengeloberfläche, die den kriechenden Insekten das Klettern sehr erschwert. Das ist z. B. bei der Lorbeerweide der Fall, deren jüngere, die Blütenkätzchen tragenden Zweige einen eigentümlichen, bläulichen Reif, ähnlich wie die Pflaumen zeigen, der aus Wachs besteht. Dieser Überzug macht den Zweig so glatt, daß Ameisen fast stets ihren Halt verlieren und herabfallen, ohne zu den honigduftenden Weidenblüten gelangt zu sein.

Viele Pflanzen schützen sich auch durch steife Haare oder Borsten vor ungebetenen Gästen, die besonders dann wirksam erscheinen, wenn sie abwärts, d. h. dem aufkriechenden Tier entgegengerichtet sind. Namentlich Schnecken, die vor Leimüberzügen nicht zurückschrecken, scheuen eine derartige Schutzwehr. Schon die rauhaarigen Borraginaceen werden von Schnecken wenig belästigt, weil ihnen die scharfen, steifen Borsten unangenehm sind. Raupen und Schnecken suchen aber die Blüten und jungen Knospen nicht des Pollens oder Honigs wegen auf, sondern um besonders die jungen und zarten Teile der ganzen Blüte zu verzehren. Aber auch noch andere Insekten rufen Beschädigungen an Blüten hervor, um auf bequeme Weise zum Honig zu gelangen, und hier sind es merkwürdigerweise besonders die Hummeln, die doch sonst zu den leistungsfähigsten Blütenbesuchern gehören. Ist ihnen der natürliche, von der

Blüte gebotene Weg zur Erreichung des Nektariums zu unbequem, so beißen sie, falls die Hülle nicht zu dick ist, einfach ein Loch in der Nähe des Nektariums und saugen durch dieses den Honig aus. Dadurch wird natürlich der Blüte ein schlechter Dienst geleistet, denn der Pollen bleibt dabei unberührt und wird von der Hummel nicht auf andere Blüten übertragen. Sind die Blüten aber durch eine dicke Hülle geschützt, so ist umgekehrt das Durchbeißen derselben für die Hummeln zu umständlich, und sie bequemt sich zu dem natürlichen Wege. Dicke Hüllen, wie sie beispielsweise die meisten Korbblütler um ihre zahlreichen zarten Blüten haben, sind deshalb ein solcher Schutz gegen die illegitime Nahrungsentnahme durch die Hummeln.

Merkwürdig ist übrigens, daß das Anbeißen der Blüten nicht allen Individuen derselben Hummelart in gleicher Weise geläufig ist. An einem blühenden Beet der Gartenerbse fand sich eine Hummel, die in jede von ihr besuchte Blüte am

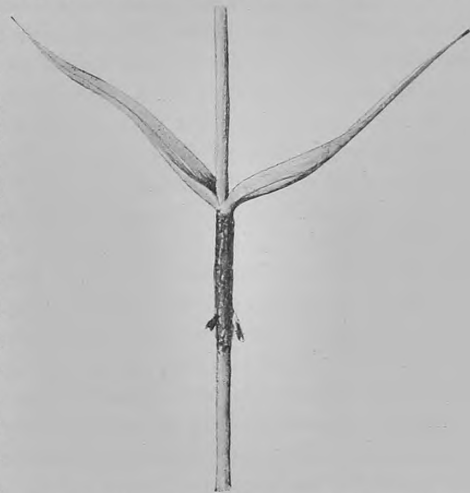


Fig. 41. Stengelstück der Pechnelke; unter den Blättern befindet sich eine Zone mit klebrigen Ausscheidungen, an welchen Insekten haften geblieben sind

Grunde ein Loch biß, um hierdurch den Honig zu saugen, während der Zugang doch gerade bei der Erbse für eine Hummel gar nicht schwierig ist. Die meisten andern Hummeln derselben Art benutzten auch regelmäßig den normalen Zugang, trotzdem der bequemere durch den vorhergehenden Besuch bereits eröffnet war. Einige andere untersuchten die Blüten erst, ob schon ein Loch am Grunde gebissen war und benutzten dann dieses, war es nicht vorhanden, so suchten sie den normalen Zugang, nur vereinzelt bissen sie selbst ein Loch in die Blütenhülle. Die Art wurde leider nicht bestimmt, doch konnten die gleichen Beobachtungen mehrere Tage hintereinander gemacht werden, nur daß sich der regelmäßig Löcher beißende Hummel nur einmal eingestellt hatte.

Die Blüten brauchen aber auch einen Schutz gegen fliegende Insekten, die für die Pollenübertragung nicht geeignet sind. In den meisten Fällen wirkt schon der ganze Blütenbau, die Lage der Nektarien, die Länge und Enge der Kronröhre gegenüber einer großen Anzahl von Insekten als Schutz. Die kleinsten aber, die zwar bis zur Mündung der Blütenröhre fliegen, dann aber in dieselbe hineinkriechen, würden durch diese Eigenschaften der Blüte nicht von dem Honignaschen abgehalten werden. Bei Blüten mit hängender Krone sind nun, wie bei vielen Glockenblumen, die inneren Wände der Kronblätter oft sehr glatt und so gewölbt, daß die hineinkriechenden Insekten gewöhnlich wieder abgleiten und aus der Blüte herausfallen. Am Griffel starrt ihnen aber zuweilen ein solcher Wall von Haaren entgegen, daß sie diesen Weg vermeiden und lieber wieder ihr vergebliches Mühen an den Blumenblättern beginnen.

Überhaupt sind Haare vielfach ein sehr geeigneter Verschuß der Kronröhren gegenüber kleinen Insekten; der zarte Rüssel von Faltern und Bienen dringt ohne Schwierigkeiten durch den Haarwall hindurch, aber kleine Käfer beispielsweise können nicht über oder durch ihn klettern. Deshalb sind irgendwo in röhrenförmigen Blüten Ringe aus Haaren bei den Pflanzen sehr häufig. Auch gerade, steife Borsten, die nach der Blütenmündung gerichtet sind, wirken in ähnlicher Weise absperrend.

Im allgemeinen kann man sagen, je mehr eine Blüte für den Besuch bestimmter Insektenarten eingerichtet ist, um so besser ist sie schon an und für sich von der Beraubung durch nicht für die Pollenübertragung geeignete Arten geschützt. Selbst der intensive Duft mancher Blüten mag auf viele Insekten abstoßend wirken, während er freilich wieder andere, auch schädliche anzieht. Blüten, die nur während bestimmter Zeiten, in denen die für sie wichtigen Insekten fliegen, ihren Duft aushauchen, während sie sonst völlig duftlos sind, haben insofern einen Vorteil, daß sie während dieser letzteren Zeit wenigstens keine schädlichen Insekten auf sich aufmerksam machen. Sehr oft schließen sich auch während dieser Zeit die Blüten, so daß sie während eines großen Teiles der Zeit, wo nur die für sie ungeeigneten Besucher zu erwarten wären, überhaupt unzugänglich sind. Oder sie blühen überhaupt nur während einer kurzen Zeit, in welcher die zu ihrer Befruchtung dienenden Insekten fliegen und haben nachher keinerlei Stoffe mehr, die andere Insekten anlocken könnten. Oder endlich, sie nehmen zeitweilig eine Stellung durch Abwärtswenden ein, die den Zugang zum Blüten-

grunde während der Zeit, in der nur unerwünschte Besucher kommen, wesentlich erschwert, so daß sich diese andern Blüten zuwenden, in denen ihnen die Erlangung des Honigs keine solchen Schwierigkeiten macht.

X. KAPITEL

Die Kreuzung

Die geschlechtliche Fortpflanzung hat, wie in früheren Kapiteln bereits erwähnt wurde, hauptsächlich dann einen Vorteil für die Pflanzen, wenn damit gleichzeitig eine Kreuzung verbunden ist, d. h. die Vermischung der Geschlechtszellen zweier verschiedener Individuen, woraus dann der Keim eines neuen Individuums hervorgeht. Es ist deshalb zu erwarten, daß sich Vorrichtungen bei den Pflanzen ausgebildet haben, um eine Kreuzung auch dann zu ermöglichen, wenn männliche und weibliche Geschlechtsorgane in derselben Blüte vereinigt sind. Dieses Streben nach Kreuzung der Geschlechtsprodukte verschiedener Individuen geht so weit, daß in vielen Fällen die Selbstbefruchtung, d. h. die Befruchtung der weiblichen Geschlechtszellen durch die männlichen derselben Pflanze geradezu unmöglich gemacht ist, trotzdem dadurch die Möglichkeit der Befruchtung jedenfalls verringert wird. Nichtsdestoweniger ist vielfach die Selbstbefruchtung nicht ganz ausgeschlossen, sie tritt aber gewöhnlich nur dann ein, wenn Kreuzung nicht möglich war.

Unter den vielen Mitteln, welche zur Verhinderung der Selbstbefruchtung dienen, ist das radikalste jedenfalls die Verteilung der Geschlechter auf verschiedene Individuen, die Diöcie, eine Form, die im Pflanzenreich weit verbreitet ist und schon bei Moosen und Algen vielfach vorkommt. Trägt eine Pflanze nur weibliche, ein anderes Individuum derselben Art nur männliche Blüten, so ist selbstverständlich nur Kreuzung möglich. Unter den Blütenpflanzen kommt Diöcie sehr häufig vor, namentlich sind eine Anzahl Windblütler, die ohnehin über große Mengen von Blütenstaub verfügen, diöcisch. Aber zwischen typisch diöcischen Pflanzen und Arten mit Zwitterblüten gibt es eine große Menge von Zwischenformen, die anzeigen, daß sich die Diöcie allmählich aus Zwittern entwickelt hat, obwohl auch Fälle bekannt sind, die den umgekehrten Entwicklungsgang von diöcischen zu Zwitterblüten wahrscheinlich erscheinen lassen. In der Mitte stehen gewissermaßen die monöcischen Arten, Pflanzen, bei denen zwar die Geschlechter auf verschiedene Blüten verteilt sind, sich aber auf demselben Individuum befinden. Es ist nicht selten, daß alle drei Formen der Geschlechterverteilung sich bei den verschiedenen Arten ein und derselben Gattung finden, ja selbst bei einer Art; seltener allerdings ist es, daß sich neben vollständig normalen Zwitterblüten auf demselben Individuum rein männliche und rein weibliche Blüten in ganz getrennten Ständen finden, wie dies bei unserer Esche (*Fraxinus excelsior*) der Fall ist.

Gar nicht selten sind scheinbar normal entwickelte Zwitterblüten, bei denen

aber doch die männlichen oder weiblichen Geschlechtsorgane nicht mehr funktionsfähig sind; solche Blüten bezeichnet man als *scheinzwitterig* und unterscheidet *scheinzwitterige* Fruchtblüten, bei denen der weibliche Geschlechtsapparat und *scheinzwitterige* Pollenblüten, bei denen der männliche Geschlechtsapparat allein normal funktioniert. Es kommt auch vor, daß neben echten Zwitterblüten in demselben Blütenstand *Scheinzwitter* vorhanden sind, oder daß man allmählich ein Zurücktreten des einen Geschlechts in den Blüten beobachtet. Deshalb lassen sich z. B. viele Pflanzen in verschiedenen Klassen des Linnéschen Systems, das

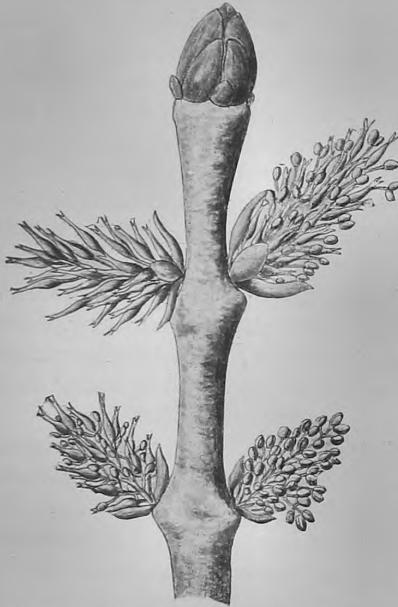


Fig. 42. Blütenstände der Esche. Links oben rein weiblicher, rechts unten rein männlicher Blütenstand, die beiden andern mit Staubblättern und Fruchtknoten

bekanntlich in den ersten 12 Klassen nach der Zahl der Staubblätter einteilt, unterbringen, weil die Blüten verschiedene Zahlen der Staubblätter aufweisen. Am auffallendsten ist dies vielleicht bei dem unscheinbaren Knäuel, *Scleranthus annuus* der Fall, der normalerweise 4 Staubblätter besitzt. Sie sind auch gewöhnlich alle 4 vorhanden, aber manchmal fehlen einem, zweien oder dreien, seltener allen vierten die Antheren; es hat also eine Reduktion des männlichen Geschlechts stattgefunden. Mitunter werden, wie bei manchen *Cirsium*-arten scheinbar ganz normale Blüten ausgebildet, bei denen aber der Pollen nicht mehr keimt, auch wenn er auf die Narben anderer Blüten derselben Art gebracht wird. Hier ist also der erste Anfang einer Reduktion der Geschlechter vorhanden; es können aber in demselben Blütenstande — z. B. bei der Roßkastanie — auch noch wirklich normale Zwitterblüten vorhanden sein, die Reduktion hat also nur bei einem Teil der Blüten begonnen.

Noch weiter ausgebildet ist diese *Scheinzwitterigkeit* der Blüten bei der allgemein verbreiteten Taglilchnelke (*Lychnis diurna*), von der sich zwei verschiedene Blütenformen auf verschiedenen Individuen finden. Die eine zeigt noch normal entwickelten Fruchtknoten mit Stempel und Narbe, aber die Staubblätter sind sehr verkümmert und auf kleine Zipfelchen, die an der Spitze ein Köpfchen ohne Blütenstaub tragen, reduziert. Die andere zeigt normal entwickelte Staubblätter, der Fruchtknoten bildet aber in der Mitte der Blüte nur ein kleines Knöpfchen, an welchem an Stelle der Narben zwei kleine Spitzchen stehen; Samenanlagen sind in ihm gar nicht mehr entwickelt. Hier kann man schon von ausgesprochener *Diöcie* reden, obwohl die andern Geschlechter noch in der Blüte angedeutet sind. Überhaupt ist die Zahl derartiger Zwischenformen zwischen rein *diöcischen* und

tatsächlichen Zwitterblüten eine überaus große und in allen Schattierungen vorhandenen, wovon hier nur wenige Beispiele angeführt werden konnten.

Aber auch bei ausgesprochenen Zwitterblüten sind die verschiedenartigsten Einrichtungen getroffen, um, wenigstens eine Zeitlang, nur Kreuzung zuzulassen und erst dann, wenn diese ausbleibt, kann bei vielen Blüten Selbstbefruchtung eintreten. Letztere ist niemals möglich bei Zwitterblüten die Selbststerilität (Autatrygie) besitzen. Es gibt nämlich anscheinend ziemlich verbreitet Pflanzen, bei denen der Pollen nicht auf der Narbe derselben Blüte oder überhaupt nicht auf den Narben desselben Individuums keimt. Das ist beispielsweise bei dem Lerchensporn (*Corydalis cava*), auch bei der Osterluzzei (*Aristolochia Clematitis*) beobachtet. Hier kann also nur eine Kreuzung stattfinden, und es ist bei diesen zweifellosen Zwitterblüten die Selbstbestäubung oder doch Selbstbefruchtung ebenso sicher ausgeschlossen wie bei diöcischen Blüten. Ja bei manchen Pflanzen wirkt der Pollen der eigenen Blüte, wenn er einmal zufällig auf die Narbe gelangt, direkt schädlich, indem sich die unter dem Pollenkorn liegenden Zellen verfärben und absterben.

Am verbreitetsten von allen Einrichtungen zur Herbeiführung der Kreuzung und Verhinderung der Selbstbestäubung ist die Dichogamie, d. h. die ungleichezeitige Reife von weiblichen und männlichen Geschlechtsorganen derselben Blüte. Entwickeln sich die männlichen Organe früher, so sind die Blüten protandrisch, im umgekehrten Fall proterogyn. Die meisten Zwitterblüten sind protandrisch, d. h. die Staubblätter haben reife Antheren und geben ihren Pollen ab, noch ehe die Narben derselben Blüte belegungsfähig sind. Oft sind die Narben geschlossen und die Pollenkörner können überhaupt nicht auf das Narbengewebe gelangen, oder sie sondern doch keinen klebrigen Saft ab, der die Pollenkörner festhält und zum Keimen anregt. Selbstverständlich kann in solchen Blüten nur eine Kreuzung stattfinden, denn die Insekten holen aus den einen Blüten den Pollen und können ihn nur auf andere Blüten, die keinen Pollen mehr besitzen, wieder auf den Narben ablagern. Bei strenger Durchführung dieses Prinzips würde die Wirkung eine ähnliche sein wie bei den diöcischen Blüten.

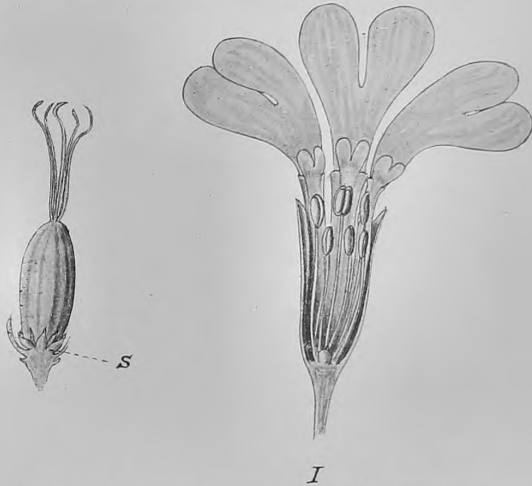


Fig. 45. *Lychnis diurna*. I Blüte mit entwickelten Staubblättern nach Entfernung des vorderen Teiles. Fruchtknoten verkümmert; ca. 4fach vergrößert. II Fruchtknoten aus einer Blüte, deren Staubblätter s verkümmert sind, ebenfalls ca. 3fach vergrößert

Aber in den meisten Fällen kann es auch zur Befruchtung mit dem Pollen anderer Blüten desselben Individuums kommen (Geitonomie), wobei natürlich das Prinzip der Kreuzung durchbrochen wird. Sehr häufig findet man an ein und demselben Pflanzenindividuum Blüten in ganz verschiedenen Entwicklungsstadien, so daß auch bei ausgesprochener Dichogamie doch eine Belegung der Narben mit Pollen aus Blüten derselben Pflanze möglich ist; aber nicht bei allen Blüten, einige müssen durch den Pollen von anderen Individuen befruchtet werden, wenn es überhaupt zur Befruchtung kommt. Denn eine Blütentraube, deren Blüten von unten nach der Spitze zu aufblühen, und die etwa protogynisch sind, hat ihren letzten Pollen bereits verausgabt, wenn die Narben der obersten Blüten belegungsfähig werden, so daß diese mit dem Pollen anderer Blüten, und wenn das Individuum nur diesen einen Blütenstand besitzt, auch mit dem Pollen anderer Individuen belegt werden müssen. So wird die Kreuzung wenigstens für einen Teil der Blüten sicher gewahrt.

Nicht so häufig vielleicht als protogynisch sind bei Zwitterblüten protogynisch; von unseren Pflanzen ist die Nießwurz (*Helleborus foetidus*), die Wegericharten (*Plantago*), manche Laichkräuter (*Potamogeton*), die Feldrüster (*Ulmus campestris*), viele Simsen (*Luzula*) und viele Liliaceen protogynisch. Bei manchen dieser Arten (z. B. bei *Plantago media*), tritt der Griffel mit der belegungsfähigen Narbe schon aus der noch ungeöffneten Blütenknospe hervor, und die Befruchtung hat bereits stattgefunden, ehe die Blüte sich entfaltet. Weit häufiger sind protogynisch Blüten bei diöcischen und monöcischen Pflanzen, namentlich bei letzteren, so daß an einem Individuum zuerst die weiblichen Blüten sich öffnen und erst später die männlichen. Da nun aber das Aufblühen bei den verschiedenen Individuen überhaupt je nach Lage und Standort, oft auch infolge individueller Anlagen zu verschiedenen Zeiten erfolgt, so sind immer gleichzeitig Pflanzen mit geöffneten männlichen, und andere mit geöffneten weiblichen Blüten vorhanden. Auch ist es gar nicht selten, daß bei derselben Pflanzenart protogynisch und protogynisch Individuen gleichzeitig vorkommen, regelmäßig z. B. bei der Walnuß (*Juglans regia*).

Meist ist aber die Dichogamie eine zeitlich beschränkte, und man nennt sie dann unvollkommen. Gewöhnlich liegen die Verhältnisse in den Zwitterblüten nämlich so, daß zwar das eine Geschlechtsorgan früher reif ist, als das andere, daß aber das Ende der Reifezeit des einen noch mit dem Anfang der Reifezeit des andern zusammenfällt. Hierdurch wird bewirkt, daß im Anfang der Blütezeit nur Kreuzung stattfindet, daß aber am Schluß, wenn Kreuzung ausgeblieben ist, doch noch Selbstbefruchtung erfolgen kann.

Sehr häufig wird eine Form der Dichogamie dadurch herbeigeführt, daß die Staubblätter schon verwelken und abfallen, ehe sich die Narben belegungsfähig zeigen. Bei unserer wilden Balsamine (*Rüchmichnichten*, *Impatiens Noli-tangere*), wird in den eben geöffneten Blüten die Narbe vollständig von den haubenförmig darüber gewölbten Antheren verdeckt, die sich gleichzeitig mit der Blüte und zwar nach außen öffnen. Die Antheren selbst decken die Narbe so zu, daß kein Pollen auf sie gelangen kann. Ist der Pollen ausgestäubt, so löst sich die ganze

Antherenhaube von den Staubfäden los und fällt ab, so daß die Narbe erst jetzt zugänglich wird und belegt werden kann. Bei den meisten Storchschnabelarten schließen die fünf Narben zusammen, solange die Antheren noch Pollen haben und die Staubblätter aufgerichtet sind. Ist der Pollen verausgabt, so verwelken die Staubfäden, bei einigen Arten fallen sie ab und nun erst öffnen sich die Narben und werden belegungsfähig. Bei der Gattung *Parietaria*, Glas-kraut, die proterogyn ist, streckt sich die Narbe aus der noch ungeöffneten Blüte hervor und verwelkt, wenn die Blüte sich öffnet und die gespannt in derselben ruhenden Staubblätter hervorschnellen und dabei ihren Blütenstaub austreuen. Bald, oft schon vor oder gleichzeitig mit dem Öffnen der Blüte fällt der ganze Stempel mit der Narbe vom Fruchtknoten ab.

Vielfach kommt es auch vor, daß Staubblätter und Narben in einer Blüte eine solche gegenseitige Stellung einnehmen, daß die ersteren ihren Pollen nicht gut auf die Narben derselben Blüte bringen können, und daß auch Insekten dies bei ihrem Besuch nicht tun können. Bei den weißen Lilien (*Lilium album*), strecken die Griffel ihre Narben so weit aus den Blüten hervor, daß wohl ein anfliegendes Insekt sie berührt, aber nicht mehr, wenn es in der Blüte nach Nahrung sucht, und auch zufällig kann kein Blütenstaub derselben Blüte auf sie fallen. Man bezeichnet alle Einrichtungen, die durch besondere Stellung von Narbe und Staubblättern eine Selbstbestäubung verhindern, als *Herkogamie*. Sie ist besonders ausgeprägt entwickelt bei vielen Orchideen, deren Blüteneinrichtung schon besprochen wurde. Hier ist einmal der Pollen zu einer wachsartigen Masse verklebt, die ein Ausstäuben oder Ausfallen einzelner Pollenkörner verhindert, und diese Masse ist auch noch in einen Behälter eingeschlossen, der sie von der Narbe trennt. Das besuchende Insekt führt gleichzeitig die ganze Pollenmasse aus der Blüte fort, so daß bei dieser Lage von Narbe und Pollenmasse eine Selbstbefruchtung trotz gleichzeitiger Reife beider unmöglich ist. Auch stehen die Pollinarien zunächst steif aufwärts vom Kopf der Bienen und Hummeln weg, so daß sie nicht mit den Narben in Berührung kommen; erst nach einiger Zeit krümmen sie sich abwärts und kommen in eine Lage, daß sie beim Besuch anderer Blüten an die Narben angepreßt werden müssen. Die Zeit ist aber gewöhnlich so lang, daß das Insekt alle Blüten einer Pflanze abgesucht haben kann, ehe sich die Pollinarien neigen, so daß durch diese Einrichtung sogar die Kreuzung zwischen verschiedenen Individuen derselben Art befördert wird.

Selten und in ausgeprägter Form nur bei fremdländischen Pflanzen beobachtet ist eine Blüteneinrichtung, die man als *Enantiostylie* bezeichnet hat, bei welcher Griffel und Staubblätter nach verschiedenen Seiten in der Blüte gerichtet sind. Das ist beispielsweise bei verschiedenen Arten der Gattung *Cassia* der Fall, doch so, daß fast bei jeder Art wieder eine besondere Form vorliegt. Im allgemeinen kann man rechts- und linksgriffliche Blüten unterscheiden, d. h. in der einen wendet sich der Griffel nach der rechten, in der anderen nach der linken Seite, während die Staubblätter umgekehrt gerichtet sind. Beide Blütenformen sind entweder auf verschiedene Pflanzen verteilt oder kommen auf demselben Individuum vor; dann blühen aber auf diesem oft nur rechtsgriffliche oder nur

linksgrifflige zu gleicher Zeit, so daß doch eine Kreuzung verschiedener Individuen stattfinden muß.

Der Vorgang bei der Bestäubung solcher enantiostyler Blüten vollzieht sich nun so, daß, wenn ein Insekt ein Individuum mit linksgriffligen Blüten absucht, es sich immer nur auf der rechten Seite mit Blütenstaub beladen kann, der für die linksstehenden Narben unerreichbar ist. Besucht es dann ein Individuum mit rechtsgriffligen Blüten, so ladet es den von der vorigen Pflanze mitgebrachten Blütenstaub auf die Narben ab und beladet sich nun auf der linken Seite mit Pollen. Auf diese Weise kommt dann auch späterhin nur eine Bestäubung links-

griffliger Blüten mit dem Pollen rechtsgriffliger und umgekehrt zustande.

Weit häufiger und auch bei vielen einheimischen Pflanzen ist eine ebenfalls sehr eigentümliche Entwicklung von Vorrichtungen zur Verhütung der Selbstbestäubung, die man als Heterostylie bezeichnet; sie kann eine dimorphe oder trimorphe sein. Bei der häufigeren dimorphen Heterostylie kommen Blüten mit langen Griffeln und kurzen Staubblättern und solche mit kurzen Griffeln und langen Staubblättern, auf verschiedene Individuen verteilt vor. Die meisten Primelarten zeigen dimorphe Heterostylie. Untersucht man eine Anzahl verschiedener blühender Primelpflanzen, so findet man bei den einen einen kurzen, tief in der Kronenröhre verborgenen Griffel und weit oben, viel höher stehend, die Antheren mit ihrem kurzen Stiel der Krone angeheftet, bei den andern sind diese

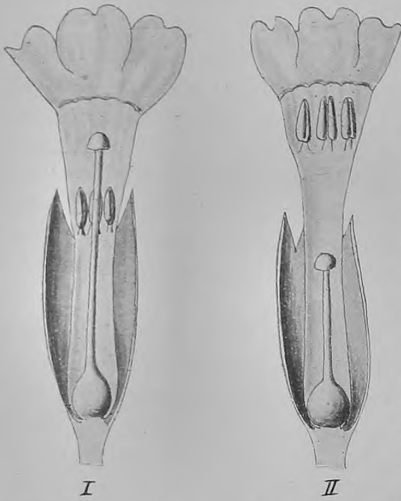


Fig. 44. *Primula officinalis*. I Langgrifflige Form mit tieferstehenden Antheren. II Kurzgrifflige Form mit höher stehenden Antheren. Beide nach Entfernung der Vorderseite, schwach vergrößert

tief unten in der Kronenröhre angeheftet, während die Griffel weit hervorragen. Solche lang- und kurzgrifflige Blüten sind ziemlich verbreitet, sie finden sich z. B. auch bei dem Lungenkraut (*Pulmonaria*), vielen *Primulaceen*, *Gentianaceen*, Bergflachs (*Thesium*), Vergißmeinnicht u. a. Gewöhnlich sind auch die Blumenkronen bei lang- und kurzgriffligen Formen etwas verschieden, die Röhren etwas weiter oder enger, was mit der Art der Bestäubung in Zusammenhang zu bringen ist. Stets stehen die Griffel der einen Gruppe in gleicher Höhe wie die Antheren der andern, und hierdurch ist schon im allgemeinen Selbstbefruchtung ziemlich ausgeschlossen. Es wird aber auch eine Übertragung des Pollens am häufigsten zwischen solchen Blüten erfolgen, bei denen Narben und Antheren in gleicher Höhe stehen, denn ein die Blüte besuchendes Insekt wird sich bei kurzgriffligen Blüten an einer anderen Stelle des Körpers mit Blütenstaub beladen, als bei langgriffligen, und da die Narben immer

in derselben Höhe stehen, wie die Antheren der andern Form, so werden sie auch meist mit den Pollen dieser Art belegt werden.

Es scheint sogar, wenigstens bei vielen Arten, ein Vorteil für die Befruchtung zu sein, wenn langgrifflige Blüten durch den Pollen von kurzgriffligen befruchtet werden. Nach H. Müllers Untersuchungen an *Hottonia palustris* ergab sich, daß bei Bestäubung langgriffliger mit langgriffligen oder kurzgriffliger mit kurzgriffligen Blüten nur 61 % der Samen erzeugt wurden, viel weniger, als wenn lang- und kurzgrifflige Blüten gekreuzt wurden.

Übrigens zeigt sich auch häufig ein Unterschied in der Größe von Pollenkörnern und Narbenpapillen bei kurz- und langgriffligen Blüten. Fast regelmäßig sind die Pollenkörner der langgriffligen Formen erheblich kleiner als die der kurzgriffligen, und dementsprechend sind auch die Narbenpapillen der kurzgriffligen Formen kleiner, so daß die Pollenkörner der einen Form nur gut in die Zwischenräume zwischen den Narbenpapillen der anderen hineinpassen. Schon hierdurch wird nicht nur Selbstbefruchtung, sondern auch Bestäubung mit dem Pollen gleichgriffliger Blüten nicht unbeträchtlich erschwert.

Noch komplizierter ist die Ausbildung der trimorphen Heterostylie, wie sie innerhalb unserer Flora bei dem Schotenweiderich, *Lythrum salicaria* vorkommt. Hier gibt es lang-, mittel- und kurzgrifflige Formen und dementsprechend zeigen die Staubblätter dreierlei Längen; aber in jeder Blüte befinden sich gleichzeitig Staubblätter von zweierlei Länge, so daß folgende verschiedene Blütenformen zustande kommen: 1. Blüten mit langen Griffeln, kurzen und mittellangen Staubblättern. 2. Blüten mit mittellangen Griffeln, langen und kurzen Staubblättern. 3. Blüten mit kurzen Griffeln, mittellangen und langen Staubblättern. Auch hier stehen die Narben stets in der gleichen Höhe, wie die entsprechenden Staubblätter anderer Blüten und die Unterschiede in Größe von Pollenkörnern und Narbenpapillen lassen sich deutlich erkennen; die am höchsten stehenden Antheren haben die größten, die am niedrigsten stehenden die kleinsten Pollenkörner, die langgriffligen Narben die größten Papillen usw. Findet Bestäubung der Narben mit Pollen gleich hoher Staubblätter statt, so nennt man sie legitim, im anderen Fall illegitim. Illegitime Bestäubung ergibt, wie in dem oben angeführten Fall eine geringere Zahl von Samenkörnern; auch bei *Lythrum Salicaria* kommt nach Darwin nur eine normale Fruchtbarkeit bei legitimer Bestäubung zustande.

Ein ziemlich häufiger Fall von Verhinderung der Selbstbestäubung ist durch Veränderung der Lage von Antheren und Narben innerhalb derselben Blüte gegeben (Platzwechsel). Auch da sind sehr verschiedene Formen beobachtet worden, im Prinzip gleichen sich aber alle insofern, als zuerst Narben sich an der Stelle finden, die von den Insekten beim Blütenbesuch berührt werden müssen, und später an derselben Stelle Staubblätter erscheinen oder umgekehrt. Im ersteren Falle kommen die Insekten in der Blüte mit den Staubblättern oder wenigstens mit den Antheren gar nicht in Berührung, müssen aber infolge des Blütenbaues die Narbe streifen und legen dabei einen Teil des Pollens ab, den sie von anderen Blüten mitgebracht hatten. Dadurch wird eine Befruchtung herbeigeführt, und

wenn sich dann die Staubblätter an dieselbe Stelle wenden, die die Narbe bisher eingenommen, so ist die letztere bereits längere Zeit vorher belegt gewesen und der etwa auffallende Pollen kommt nicht mehr zur Befruchtung der Samenanlagen. Ebenso einfach liegt der umgekehrte Fall, wenn zuerst die Antheren sich den Insekten entgegenstellen; sie werden ihres Pollens beraubt, und wenn dann die Narbe an ihre Stelle tritt, so sind sie entweder bereits verwelkt oder doch ohne Pollen, so daß ebenfalls eine Selbstbestäubung ausgeschlossen ist. Erreicht wird durch diesen Platzwechsel besonders, daß sich die Insekten stets an der Stelle mit Pollen beladen, mit welcher sie in anderen Blüten die Narbe berühren müssen.

Am häufigsten wird dieser Platzwechsel dadurch erreicht, daß sich die anfangs den Insekten sich entgegenstellenden Antheren nach einiger Zeit wegkrümmen und die bis dahin verdeckte Narbe frei lassen, die nun an der Stelle steht, die vorher von den Antheren eingenommen wurde. Das ist z. B. bei vielen Malven, auch beim Eisenhut der Fall. Bei der Tollkirsche nimmt die Narbe anfangs die Mitte der Blüte ein, die Staubblätter sind nach den Seiten gewendet, später biegt sich die Narbe auf die Seite und die Staubblätter krümmen sich nach der Mitte zu.

XI. KAPITEL

Selbstbestäubung

Eine so große Anzahl der verschiedenartigsten Einrichtungen zur Verhinderung der Selbstbestäubung, von denen im vorigen Kapitel nur eine kleine Zahl von Beispielen angeführt werden konnte, muß natürlich zu der Annahme führen, daß allein die Kreuzung, die Fremdbestäubung, für die Pflanzen von Wert sei. Wir finden indessen umgekehrt auch ebenso mannigfaltige Einrichtungen, welche den Zweck haben, die Selbstbestäubung zu ermöglichen.

Diese scheinbar entgegengesetzten Einrichtungen sind aber doch nicht so widersinnig, als es auf den ersten Blick scheinen könnte, denn sie ergänzen sich meist in einer für die Pflanzen überaus nützlichen Weise. Man kann im allgemeinen sagen, daß nur da die Einrichtungen zur Begünstigung der Selbstbestäubung in Funktion treten, wo eine Fremdbestäubung ausbleibt, daß also die Pflanze auch dann noch nicht umsonst geblüht hat, wenn aus irgend einem Grunde eine Belegung der Narben mit dem Pollen anderer Blüten unterbleibt.

Eine große Anzahl von Blütenpflanzen kommt allerdings für Selbstbestäubung gar nicht in Betracht, selbstverständlich nicht die diöcischen und die selbststerilen. Auch bei vielen anderen sind die Einrichtungen zur Verhinderung der Selbstbestäubung so weitgehend, daß sie kaum vorkommt, selbst wenn Fremdbestäubung ausbleibt, bei der größten Zahl aber kann Selbstbestäubung dann eintreten, wenn Fremdbestäubung ausbleibt.

Gewöhnlich finden wir dann in den Blüten derartige Einrichtungen getroffen, daß zuerst nur Fremdbestäubung eintreten kann und erst, nachdem die Blüte in

einem hierfür geeigneten Zustande gewillt hat, auch Selbstbestäubung möglich wird. Im einfachsten Falle geschieht dies durch die unvollkommene Dichogamie, bei welcher, wie erwähnt, zwar anfangs der weibliche oder männliche Geschlechtsapparat früher reif wird als der andere und somit nur für Kreuzung geeignet ist, aber doch noch nicht seine Fertilität verloren hat, wenn die Reife des anderen beginnt. Bei dem Steinsamen (*Lithospermum*) liegen die Antheren direkt der Narbe an und belegen diese beim Ausstäuben sofort mit Pollen; allerdings ist die Blüte des Steinsamens protogyn und die Narbe hatte Zeit, vorher mit dem Pollen

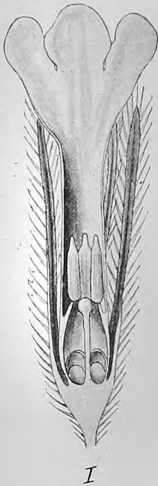


Fig. 45. Blüte von *Lithospermum arvense* im Längsschnitt, schwach vergrößert. Die noch nicht geöffneten Antheren liegen unmittelbar über der bereits belegungsfähigen Narbe. Alle Insekten müssen auf dem Wege zum Blüten Grunde zwischen den Antheren durch und die Narbe berühren

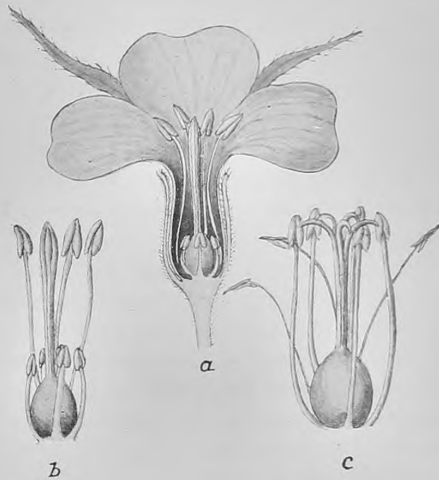


Fig. 46. *Agrostemma Githago*, Kornrade. a Blüte nach dem Aufblühen im Längsschnitt; nur die äußeren Staubblätter stäuben aus, Narben geschlossen; b Fruchtknoten und Staubblätter für sich allein; c äußere Staubblätter verblüht und auswärts gekehrt, innere herangewachsen, ausstäubend Narben öffnet und sich Pollen holend

anderer Blüten belegt zu werden. Das gleiche ist bei dem ebenfalls protogynen kleinen Storchschnabel (*Geranium pusillum*) der Fall, auch bei der Schachblume (*Fritillaria*) und Narzissen.

In anderen Fällen, bei ebenfalls protogynen Blüten, fällt der Pollen auf die tieferstehende Narbe, so beim Flieder, beim Hollunder. Beim Schneeglöckchen ist zwar der Griffel viel länger als die Staubblätter, aber die Blüten hängen, und der ausfallende Pollen gelangt deshalb doch auf die Narbe.

Nicht selten findet auch eine Verlängerung der anfänglich tiefer stehenden Staubblätter bis in Narbenhöhe statt, wobei gleichzeitig die aufspringenden Antheren an den Narben entlangstreifen und dabei ihren Pollen abgeben. Das ist bei vielen Nelkengewächsen und Weidenröschen der Fall; auch hier

sind die Blüten fast stets proterogyn. Ein typisches Beispiel ist hierfür die Kornrade (*Agrostemma Githago*). Von den zehn Staubblättern der Blüte stäuben zuerst die fünf äußeren aus, die fünf Narben bilden in der Mitte ein geschlossenes Säulchen; erst wenn die Antheren der äußeren Staubblätter leer sind, breiten sich die Narben aus und können jetzt von anfliegenden Insekten mit dem Pollen anderer Blüten belegt werden. Erst wieder etwas später wachsen die bis dahin am Grunde zurückgebliebenen Staubblätter des inneren Kreises bis zu Narbenhöhe heran, die Antheren öffnen sich und streuen ihren Pollen direkt auf die berührenden Narben aus.

Bei sehr vielen Kreuzblütlern, welche bekanntlich vier längere und zwei kürzere Staubblätter besitzen, dienen die vier längeren der Fremdbestäubung; sie stehen meist von der Narbe abgewendet und blühen früher auf, als die Narbe empfängnisfähig ist. Bei anderen, z. B. bei *Alyssum calycinum*, wenden sich die Staubblätter einige Zeit nach dem Aufspringen der Antheren und längere Zeit nach der Belegungsfähigkeit der Narbe dieser zu und geben einen Teil des Pollens an sie ab. Bei anderen Kreuzblütlern kommt nur ein Staubblatt dazu, Pollen auf die Narbe abzulegen, bei den anderen findet nur eine schwache Krümmung nach der Narbe zu statt.

Bei dem in unseren Bergen häufigen Berg-Weidenröschen (*Epilobium montanum*), welches ebenfalls proterogyn ist, ragt die kreuzförmige Narbe beim Aufblühen weit über die noch niedrigen Staubblätter empor und ist bereits belegungsfähig, wenn die letzteren geschlossen sind. Es kann also den Tag über Fremdbestäubung stattfinden; im Laufe des Tages wachsen aber auch die Staubblätter heran, zwischen den Abschnitten der Narbe hindurch, öffnen sich schließlich am Abend und geben einen Teil ihres Pollens an die Narbe ab, so daß nun Selbstbefruchtung erfolgt.

Die bekannte Trichterwinde (*Ipomoea purpurea*, auch andere in die Familie gehörige Arten) zeigt ein ähnliches Verhalten; auch hier stehen die Staubblätter zunächst ungeöffnet unter den bereits belegungsfähigen Narben, so daß anfangs nur Fremdbestäubung möglich ist; erst nach einiger Zeit wachsen sie, wenigstens teilweise, über die Narben empor, so daß der ausstäubende Pollen auf die letzteren gelangen kann. Ein anderer Teil der Staubblätter erreicht allerdings niemals die Höhe der Narben und kommt somit für Selbstbestäubung nicht in Frage. Dagegen ist die ungleiche Länge der Staubblätter wieder von Bedeutung für die Fremdbestäubung, denn Insekten, die die Blüten besuchen, haben auf einer weit längeren Strecke Gelegenheit, sich mit Pollen zu beladen.

Wohl am häufigsten ist unter den Einrichtungen, welche bei proterogynen Blüten schließlich Selbstbefruchtung ermöglichen, die, daß die ursprünglich gerade nach außen gestreckten Staubblätter sich später so krümmen, daß die Antheren über die Narbe zu liegen kommen und der ausfallende Blütenstaub auf die letztere gelangt. Im einzelnen sind diese Einrichtungen allerdings recht verschiedenartig; oft werden nur einzelne Staubblätter dazu dienen, während in anderen Fällen nach und nach fast alle oder alle Staubblätter ihren Pollen über die Narben austreuen. Dabei können sich wieder sämtliche Staubblätter gleichzeitig über

die Narben krümmen, wie bei dem Alpenhexenkraut (*Circaea alpina*) oder die Krümmung erfolgt abwechselnd bei den verschiedenen Staubblättern einer Blüte, und nachdem jedes einzelne eine Zeitlang über der Narbe verweilt, streckt es sich wieder gerade, um einem anderen Platz zu machen. Das ist z. B. der Fall bei den meisten Umbelliferen, an denen man die Bewegungen der Staubblätter sehr gut verfolgen kann. Auch beim gewöhnlichen Hollunder treten ähnliche Krümmungen ein.

Aber nicht bloß die Staubblätter tragen durch Krümmungen oder nachträg-

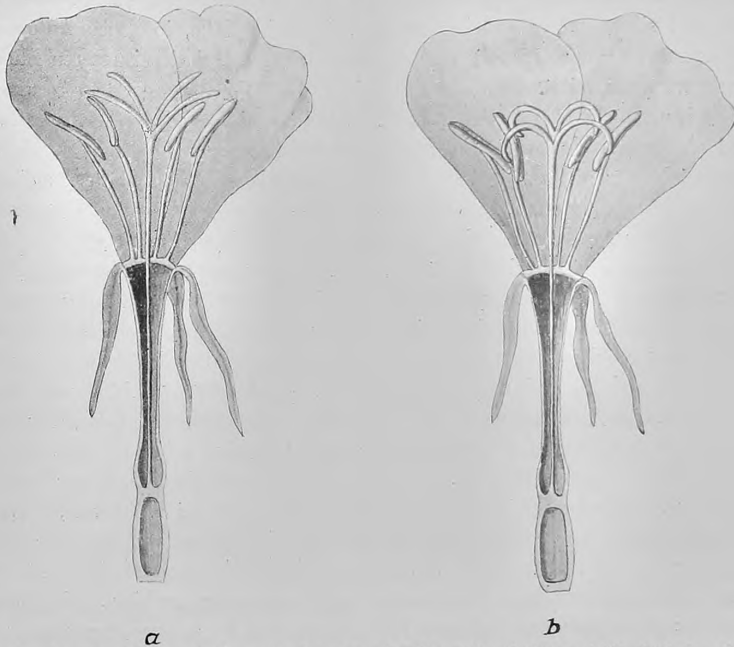


Fig. 47. *Oenothera biennis*. Stellung der Narben *a* für Fremdbestäubung, *b* für Selbstbestäubung

liches Wachstum zur Selbstbefruchtung der Blüten bei, sondern auch der weibliche Geschlechtsapparat kann durch Lageveränderung und Wachstumserscheinungen Autogamie bewirken. Bei unserer an Waldrändern und Gebüschern nicht seltenen Heckenkirsche (*Lonicera Xylosteum*), ist der Griffel zuerst so gestellt, daß die schon empfängnisfähige Narbe von den blütenbesuchenden Insekten zuerst berührt und eventuell mit dem Pollen anderer Blüten belegt werden muß; während dieser Zeit sind die Antheren noch geschlossen. Nach einiger Zeit krümmt sich der Griffel nach außen, so daß wenigstens die Narbe nicht mehr von den Insekten berührt und mit Pollen beladen werden kann, gleichzeitig brechen aber die Antheren der Blüte auf und die Blütenbesucher beladen sich mit Pollen. Erst wesentlich später krümmt sich der Griffel in seine frühere Lage und die Narbe berührt nun die Staubbeutel, um sich mit Pollen zu beladen.

Sehr deutlich ist bei den großen Blüten vieler Nachtkerzen (*Oenothera*), die jetzt an sandigen oder wüsten Plätzen fast überall verwildert vorkommen, der Vorgang der Selbstbefruchtung zu beobachten. Die Blüten sind auch hier protogyn; die Narben erscheinen wie zwei übers Kreuz in der Mitte verbundene Fäden, die anfangs weit über die noch geschlossenen Antheren vorragen und gerade ausgestreckt sind. In dieser Zeit kann nur Fremdbestäubung erfolgen, auch dann noch, wenn die darunterstehenden Staubbeutel aufgebrochen sind. Schließlich vor dem Verblühen krümmen sich die fadenförmigen Narben aber so weit abwärts, daß sie mit ihrer allein belegungsfähigen Innenfläche die Antheren berühren und sich dort mit Pollen beladen. Ähnliche Fälle, in denen Autogamie durch Krümmung des Griffels oder der Narben erfolgt, sind bei unseren Blütenpflanzen weit verbreitet.

Bei einigen ausländischen Pflanzen (z. B. *Collinsonia canadensis* nach Kerner), kommt die Autogamie dadurch zustande, daß der stets gerade bleibende, ursprünglich genau in der Mitte zwischen den fast ebenso langen Staubblättern stehende Griffel sich gegen Ende des Blühens um $20-40^{\circ}$ neigt (nicht krümmt) und dabei mit seiner Narbe genau eine Anthere trifft, wo sie sich mit Pollen versorgt.

Nicht besonders häufig sind die Fälle, in denen der ursprünglich kürzere Griffel im Verlauf des Blühens emporwächst und dabei mit seiner Narbe an den geöffneten Antheren entlangstreift, um sich mit Pollen zu beladen. Am deutlichsten ist der Vorgang an der bei uns in botanischen Gärten fast überall kultivierten Sockenblume (*Epimedium alpinum*) zu beobachten. Fruchtknoten, Griffel und Narbe bilden ein kurzes, dickes, nach oben zu etwas verschmälertes, spindelförmiges Säulchen, an welchem die noch ungeöffneten Antheren anliegen, während die Narbe bereits belegungsfähig ist. Es kann also während dieser Zeit nur Fremdbestäubung stattfinden. Später brechen die Antheren in der Weise auf, daß die Vorderwand jedes der beiden Antherenfächer sich im ganzen von dem Staubblatt löst, nur an der Spitze damit verbunden bleibend, die ganze Pollenmasse mit sich aus dem Antherenfach herausnimmt und nach oben umbiegt. Die Pollenmassen der verschiedenen Antheren bilden dann ein Dach über der Narbe und zwar in der Weise, daß auch kein Pollen auf sie fallen kann, weil der Narbe die ursprüngliche Antherenwand zugekehrt ist. Auch von Insekten kann die Narbe jetzt nicht mehr berührt werden, diese treffen vielmehr jetzt auf die Pollenmassen und beladen sich mit Blütenstaub, der zur Belegung der Narben anderer Blüten dient. Allmählich krümmen sich die Pollenmassen immer weiter, so daß sie schließlich auch mit der Pollenschicht selbst über der Narbe liegen, und wenn diese noch nicht vor dem Aufspringen der Antheren mit Pollen belegt war, so geschieht dies jetzt, indem der ganze weibliche Geschlechtsapparat sich streckt und die Narbe hierdurch bis zu den Pollenmassen emporgehoben wird.

Auch in den unscheinbaren Blüten des überall auf Wiesen und Grasplätzen verbreiteten Frauenmantels (*Alchemilla vulgaris*), findet eine schließliche Selbstbefruchtung durch nachträgliche Verlängerung des Griffels statt. Die Blüte besitzt einen einfachen Bau, keine Blumenkrone, meist vier Staubblätter und einen eigentümlich gestellten, schräg aus dem Blütengrunde vortretenden Griffel. An-

fangs ist dieser nur wenig über dem honigabsondernden ringförmigen Wulst des Kelchgrundes erhaben, und die Insekten müssen ihn beim Honigsammeln an seiner kopfförmigen Narbe berühren und diese mit Pollen anderer Blüten belegen, da die Antheren der eigenen Blüte noch geschlossen sind. Später aber wächst der Griffel weiter aus dem Blütengrunde hervor; und zwar in derselben eigentümlichen schrägen Richtung, die er bei seiner seitlichen Stellung im Blütengrunde von Anfang an einnahm. Dabei trifft er fast stets auf eine der Antheren, die inzwischen sich geöffnet haben, und die Narbe wird mit Pollen beladen.

Bei verschiedenen der in Mexiko heimischen Kaktusarten kommt auch eine Verkürzung des Griffels vor, durch welche die Narben zu den Antheren gebracht werden. Es handelt sich hier um proterandrische Blüten, bei denen die Antheren schon zur Zeit des Aufblühens sich öffnen, während die Zipfel der Narbe,

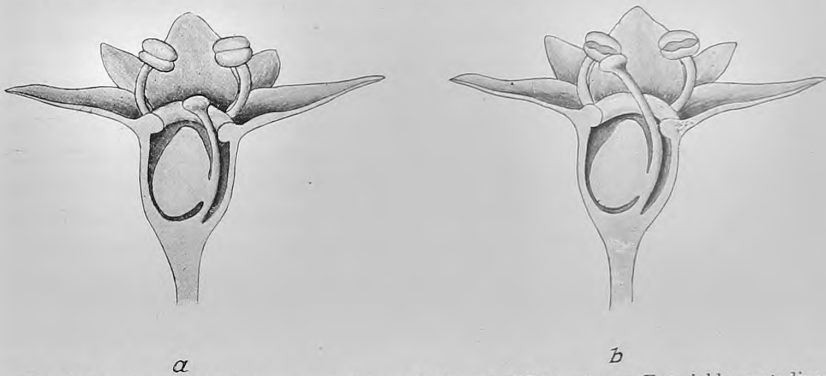


Fig. 48. Blüten von *Alchemilla vulgaris* im Längsschnitt, vergrößert. *a* junges Entwicklungsstadium, nur Fremdbestäubung ist möglich; *b* älteres Entwicklungsstadium, die Narbe wird durch Wachstum des Griffels bis zu den Antheren emporgehoben und holt sich von diesen Pollen

die meist über die Antheren hinausragen, geschlossen sind und nicht belegt werden können. Später breiten sich die Zipfel der Narbe sternförmig aus und werden nun von den anfliegenden Insekten mit dem Pollen anderer Blüten belegt. Vor dem Verblühen wird der Griffel oft um ein beträchtliches Stück verkürzt, die Narbenzipfel streifen bei dieser Verkürzung die ursprünglich tieferstehenden Antheren und beladen sich nun mit Pollen.

Ebenso häufig, wie durch Veränderung in der Länge oder Stellung der Griffel oder Staubblätter Autogamie zustande kommt, geschieht dies auch noch durch verschiedene andere Vorgänge in der Blüte. So wachsen beispielsweise die Haare des sogenannten Pappus beim Kreuzkraut schon während des Blühens empor und führen den ausgefallenen und zwischen ihnen hängen gebliebenen Pollen zu den sich herabkrümmenden Narben empor. Bei Blüten, in denen die Staubfäden den Kronblättern angewachsen sind, werden die Antheren durch das Wachstum der Kronblätter oft bis zu den Narben emporgehoben und können diese so am Schluß des Blühens mit Pollen belegen, wie dies bei einer großen Anzahl von Solanaceen der Fall ist.

Auch die Blumenblätter können dadurch Autogamie herbeiführen, daß sie beim Schließen der Blüten Narben und Antheren zusammenpressen, wodurch eine Übertragung des Pollens stattfinden muß, oder die Kronröhre fällt ab, wobei die an ihr angewachsenen Staubblätter die Narbe streifen und dabei noch Pollen abladen. Sehr häufig sind es nicht nur die Staubblätter, sondern behaarte Stellen der Kronblätter, die ausstäubenden Pollen aufgefangen haben und dann an die Narbe abgeben. Die Zahl dieser Einrichtungen ist sehr groß, und fast alle Haarbildungen im Innern von Blüten können unter Umständen für die Autogamie

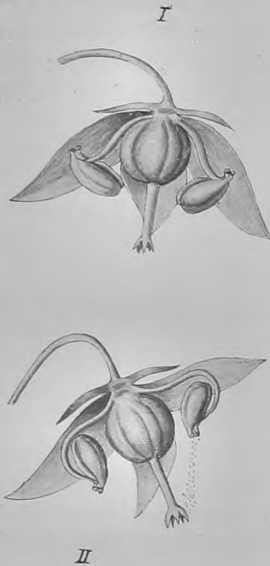


Fig. 49. Blüte von *Pirola uniflora* nach Entfernung der vorderen Blütenteile; nur zwei seitliche Staubblätter gezeichnet. I Stellung für Fremdbestäubung. II Stellung für Selbstbestäubung

dadurch nützlich werden, daß sie den von den Insekten nicht abgeholten oder dabei verstreuten Pollen auffangen und bei Berührung mit den Narben an diese abgeben. Entweder krümmen sich Griffel oder Narbenäste bis an diese Pollenansammlungen, oder letztere werden durch Wachstumsprozesse oder Lagenänderungen zu den Narben hingeführt.

Am häufigsten kommt wohl Autogamie dadurch zustande, daß sich während des Blühens allmählich eine Änderung in der Stellung der Blüte vollzieht und daß schließlich die Narben so unter den Antheren stehen, daß ausfallender Pollen sie treffen muß, während im Beginn des Blühens dies nicht der Fall ist, und deshalb nur Fremdbestäubung stattfinden kann. Besonders deutlich ist dies bei dem einblütigen Wintergrün (*Pirola uniflora*) zu erkennen, dessen Blüte beim Aufblühen senkrecht nach unten gerichtet ist, so daß etwa ausfallender Pollen an den Narben vorbeifällt. Später richtet sie sich etwas auf, und die Narbe kommt senkrecht unter die oberen Antheren zu stehen, so daß der aus ihnen fallende Pollen sie berühren muß. Gewöhnlich kommen aber auch gleichzeitig noch Veränderungen anderer Art, Krümmung der Antheren,

Verlängerung der Kronblätter, Verlängerung von Griffel und Nebenästen, oder Krümmungen derselben und andere Erscheinungen hinzu, um Autogamie herbeizuführen, so daß schließlich eine überaus große Mannigfaltigkeit resultiert und die angeführten Beispiele nur eine kleine Auswahl darstellen.

Bei allen diesen bisher besprochenen Einrichtungen, welche zur Herbeiführung der Autogamie bestimmt sind, zeigt sich aber ausnahmslos, daß sie erst zur Wirkung kommen, wenn die Blüten eine kürzere oder längere Zeit nur der Fremdbestäubung zugänglich waren. Dann erst, wenn die Gelegenheit zur Fremdbestäubung geboten war, kann bei einer großen Zahl von Pflanzen auch Selbstbestäubung eintreten, um auch dann noch den Zweck der Blüte, die Samenproduktion zu erfüllen, wenn aus irgendeinem Grunde die gewöhnliche Fremdbestäubung aus-

blieb. Die letztere steht also überall im Vordergrund, während die Selbstbestäubung, wo sie bei Pflanzen vorkommt, nur als Ersatz im Falle des Versagens der ersteren, anzusehen ist.

Um so merkwürdiger scheint es, daß eine Anzahl Pflanzen Blüten ausbilden, die von vornherein nur für Selbstbestäubung eingerichtet sind, während gleichzeitig andere Blüten für Fremdbestäubung sich eignen. Solche auch äußerlich verschiedene Blüten zeigen bei uns unter anderen die stengelumfassende Taubnessel und das wohlriechende Veilchen; bei beiden zeigen sich aber doch wieder recht beträchtliche Verschiedenheiten.

Die stengelumfassende Taubnessel (*Lamium amplexicaule*) kommt fast das ganze Jahr hindurch blühend auf Brachäckern, Gartenbeeten usw. vor. Die Blüten der gewöhnlichen Form sind zwar nicht besonders groß, kleiner als bei den andern Taubnesselarten, aber doch immerhin deutlich entwickelt und sich so weit öffnend, daß sie, namentlich im Herbst und Frühjahr, reichlich von Bienen und Hummeln besucht werden. Im zeitigen Frühjahr, schon im Spätwinter, auch in milden Jahren schon zu Beginn des Winters findet man meist kleinere Exemplare, die anscheinend voller Knospen sitzen und auch verblühte Blüten tragen, dagegen kann man selbst an sonnigen, warmen Tagen, trotz wiederholter Beobachtung niemals geöffnete Blüten an ihnen entdecken. Das ist die var. *clandestina* der Floristen, deren Blüten sich überhaupt nicht öffnen; bei ihr verläuft der ganze Bestäubungsprozeß in der geschlossenen Blüte, ohne Mitwirkung von Insekten, die gar nicht in die Blüte gelangen können. Sobald die Narben belegungsfähig sind, brechen die Antheren auf, und der Pollen wird direkt auf die zwischen den Antheren stehende und diese berührende Narbe abgeladen. Die Blüten sind sehr klein und ragen kaum erkennbar über die Kelchzipfel hervor, sind blaßrot und machen tatsächlich nur den Eindruck von Knospen. Man nennt solche, sich nicht öffnende, also nur für Autogamie eingerichtete Blüten kleistogam.

Die Taubnessel entwickelt nun nur im Winter und zeitigen Frühjahr, also zu einer Zeit, wo die Bestäubung vermittelnden Insekten fehlen und ihren Winterschlaf halten, solche kleistogame Blüten, wobei allerdings nicht der mangelnde Insektenbesuch den Anreiz zu dieser abnormen Blütenbildung abgibt. Die Ursache ist vielmehr in der niedrigen Temperatur, und wohl hauptsächlich in dem Mangel an Licht an den kurzen Wintertagen zu suchen. Vielleicht kommt aber noch hinzu, daß die Pflanzen mit kleistogamen Blüten lauter Jugendformen sind, die aus dem im Sommer gereiften Samen sich im gleichen Herbst entwickelt haben. Später, sobald es wärmer geworden ist und die Tage zugenommen haben, bringen dieselben Pflanzen, die bis dahin nur kleistogame Blüten trugen, nur große, purpurrote, sich öffnende Blüten, an denen honigsammelnde Insekten eifrig ver-



Fig. 50. *Lamium amplexicaule*. I Geöffnete Blüte der Normalform. II Kleistogame (geschlossen bleibende) Blüte der var. *clandestina*. Beide ca. 3 fach vergrößert

kehren. Es ist also keine besondere Varietät, sondern der Winterzustand der Pflanze.

Die ganze Anlage der kleistogamen Blüte kennzeichnet sie schon als eine durch die Ungunst der Verhältnisse beeinflusste Bildung. Nicht nur die Kürze der Blumenkrone, sondern auch die viel geringere Pollenmenge deuten darauf hin; beide sind ja allerdings ausreichend für die kleistogame Blüte, denn der wenige Pollen ist nicht auf den immerhin mit vielem Verlust verbundenen Weg der Übertragung durch Insekten angewiesen und noch überreich für die Befruchtung der vier Samenanlagen. Die Blumenkrone braucht aber gar keine Reize zu entfalten, da sie ja nur als schützende Hülle dient und nicht der Insektenanlockung. Die Samen der kleistogamen Blüten sind übrigens auch kleiner als die der normalen Blüten.

Wenn nicht besondere Umstände hindernd eintreten, bringt im Laufe der Entwicklung jeder Stock von *Lamium amplexicaule* anfangs kleistogame, später normale geöffnete Blüten, bei denen Fremdbestäubung stattfindet. Es ist also, genau genommen, auch hier nur zu einer Zeit für Selbstbestäubung gesorgt, wo Fremdbestäubung ohnehin nicht eintreten könnte. Und wenn wir den Vorgang von diesem Gesichtspunkte aus betrachten, so stellt er sich schließlich in seiner Bedeutung nicht viel anders dar, als die unvollständige Dichogamie vieler Pflanzen, nur daß bei der Taubnessel auf verschiedene Blüten verteilt ist, was bei diesen zeitlich bei einer Blüte aufeinander folgt, Fremdbestäubung und Selbstbestäubung.

Ähnlich verhalten sich auch eine Anzahl von Pflanzen, die im Inundationsgebiet von Flüssen, am Rande von Teichen und Wasserlöchern wachsen und bei steigendem Wasserstand oft ganz unter Wasser gesetzt werden. Froschlöffel (*Alisma*) und Bachburgel (*Peplis Portula*) sind die häufigsten von ihnen, daneben kommen aber noch einige seltenere vor, die sich ähnlich verhalten und gelegentlich vielleicht auch noch zahlreiche andere an ähnlichen Orten wachsende Pflanzen, bei denen man es noch nicht beobachtet hat. Steigt nämlich das Wasser rasch über die Blütenknospen, so findet bei ihnen ein Öffnen nicht statt, die Knospen bleiben geschlossen und die Belegung der Narben durch Pollen derselben Blüte geht ebenso vor sich, wie bei den kleistogamen Blüten der Taubnessel. Bei vielen Landpflanzen reicht schon eine längere Regenperiode hin, um das Öffnen der Blüten zu hindern, und auch dann tritt Autogamie ein; selbst starke Beschattung kann ähnliche Wirkung erzielen.

Neben diesen Pflanzen gibt es aber auch einige, welche gleichzeitig neben normalen, sich öffnenden Blüten regelmäßig auch kleistogame bilden, ohne daß äußere Umstände dafür maßgebend zu sein scheinen; so das Veilchen. Bei ihnen fehlt Duft und Farbe zur Anlockung der Insekten, die Blumenkrone ist verkümmert, und wer beim Veilchen nichts von den kleistogamen Blüten weiß, wird sie auch gewöhnlich gar nicht bemerken und höchstens an unentwickelte Knospen denken. Es sind aber Blüten, die, ohne sich zu öffnen, doch durch ihren eigenen Pollen befruchtet werden und Samen tragen, während gleichzeitig derselbe Stock die bekannten duftenden und schönfarbigen Blüten hervorbringt.

Merkwürdigerweise zeigt sich bei den weitaus meisten Pflanzen, die gleichzeitig geöffnete normale (chasmogame) und geschlossene (kleistogame) Blüten hervorbringen, daß den ersteren die Einrichtungen fehlen, welche nachträglich zur Autogamie führen, wenn Insektenbesuch ausgeblieben ist. Die Pflanze hat also hier einen anderen Weg eingeschlagen, der zu demselben Ziele führt: bleibt Insektenbesuch aus, so tragen wenigstens die kleistogamen Blüten keimfähigen Samen, so daß die Samenproduktion für alle Fälle gesichert ist.

Ähnlich wie die beiden Arten mit kleistogamen und offenen Blüten, verhalten sich bei uns noch eine ganze Anzahl andere, besonders Sauerklee, Günsel, auch einige Gräser (*Oryza clandestina*), Binsen, unter letzteren die überall an Lachen verbreitete Krötenbinse (*Juncus bufonius*), Rührmichnichtan (*Impatiens Nolitangere*). Letzteres zeigt sogar noch die eigentümliche Erscheinung, daß offene und kleistogame Blüten auf verschiedene Pflanzen verteilt sein können. Doch ist gewöhnlich auch hier der Grad der Beleuchtung maßgebend. Im tiefen Schatten wachsende Individuen zeigen oft nur kleistogame Blüten, in greller Sonne wachsende nur offene. Je mehr sich der Standort einer *Impatiens* mehr dem einen oder anderen Extrem nähert, um so mehr kommen an ihr offene oder geschlossen bleibende Blüten zur Entwicklung. Das gleiche ist auch bei dem gewöhnlichen Leinkraut (*Linaria vulgaris*) der Fall; im tiefen Schatten kommt es oft gar nicht zur Öffnung der Blüten, sie bleiben geschlossen, und die Befruchtung der Narben geschieht ohne Vermittlung von Insekten durch den Pollen der eigenen Blüte.

Auch hier könnte es scheinen, als ob der mangelnde Insektenbesuch die Ursache des Nichtöffnens der Blüten an schattigen Standorten wäre, denn an dunklen Orten fliegen die hauptsächlich die Bestäubung vermittelnden Insekten, Bienen und Hummeln, nicht. Aber auch hier ist nur die geringe Lichtintensität schuld an der verkümmerten Blütenausbildung. Man kann gerade bei *Impatiens Nolitangere* je nach dem Standort die allmählich zurückgehende Entwicklung der Blumenkrone mit zunehmender Beschattung verfolgen; je dunkler die Pflanzen stehen, desto kleiner werden allmählich die Blüten.

Immerhin sind Pflanzen mit mehr oder weniger regelmäßig ausgebildeten kleistogamen Blüten viel seltener als Arten, bei denen Selbstbefruchtung in denselben Blüten stattfindet, in denen vorher Gelegenheit zu Fremdbestäubung geboten war. Denn überall erscheint nach der Art der Einrichtungen für die Bestäubung, die Fremdbestäubung an erster Stelle und nur, wenn sie ausbleibt, kann bei der Mehrzahl der Pflanzen noch Selbstbestäubung eintreten, nur als Notbehelf, um die Fortpflanzung zu sichern. Das geht sogar so weit, daß in den meisten Fällen die Veränderungen in den Organen der Blüte, die am Schlusse des Blühens zur Selbstbestäubung führen, gar nicht vor sich gehen, wenn vorher Fremdbestäubung eingetreten ist. Man wird deshalb oft an Pflanzen vergeblich die Einrichtungen suchen, die hier für die Ermöglichung der Selbstbestäubung geschildert wurden, weil die Blüte eben schon durch Fremdbestäubung, die ja das Normale darstellt, befruchtet wurde.

XII. KAPITEL

Die Bastardbildung

Bei der Übertragung des Pollens, mag dieselbe durch Wind oder Insekten geschehen, wird es sehr allgemein vorkommen, daß sich auf einer Narbe Pollen nicht nur derselben, sondern ganz verschiedener Arten einfindet. Sind die Verschiedenheiten zwischen den Arten sehr groß, gehören sie besonders verschiedenen Gattungen oder gar Familien an, so wird der Pollen auf der Narbe entweder gar nicht zur Keimung gelangen, oder doch sehr bald seine Weiterentwicklung einstellen. Anders dagegen verhält es sich, wenn Pollen auf die Narben nahe verwandter Arten oder von Varietäten derselben Art gelangt.

Daß Fremdbestäubung oder Allogamie auch bei denjenigen Pflanzen, die zur Selbstbestäubung Einrichtungen besitzen, bessere Resultate liefert, als Autogamie, wurde bereits an verschiedenen Stellen erwähnt; noch günstiger werden die Resultate, wenn der Pollen auf die Narben anderer Individuen derselben Art gelangt — Wechselbefruchtung oder Xenogamie — als wenn Pollen auf die Narben anderer Blüten desselben Individuums gelangt — Nachbarbestäubung oder Geitonomie; beide sind nur Formen der Fremdbestäubung. Die günstige Wirkung der Wechselbefruchtung äußert sich nicht nur darin, daß die Zahl der keimfähigen Samen eine erheblich größere ist als bei Selbstbestäubung, sondern auch die aus solchen Samen hervorgehenden Pflanzen sind viel kräftiger und besitzen eine größere Fruchtbarkeit. Unter normalen Verhältnissen werden deshalb die aus solchen durch Wechselbefruchtung entstandenen Samen hervorgegangenen Pflanzen die schwächeren durch Autogamie erzeugten im Kampfe ums Dasein immer wieder verdrängen. Auch hier zeigen sich also die Nachkommen der durch Autogamie befruchteten Samen als Notbehelf, nur geeignet, unter bestimmten Verhältnissen für die Fortpflanzung der Art zu sorgen, aber zu verschwinden, sobald normal durch Wechselbefruchtung entstandene Pflanzen vorhanden sind.

Die Kreuzung verschiedener Individuen derselben Art zeigt sich also stets als vorteilhaft, auch da, wo Selbstbefruchtung möglich ist. Sie zeigt sich in der Regel auch dann noch vorteilhaft, wenn verschiedene Formen oder selbst Varietäten derselben Art miteinander gekreuzt werden; mitunter ist in diesem Falle sogar eine gesteigerte Fruchtbarkeit bei den Nachkommen vorhanden. Dagegen ist es schon durchaus nicht immer mehr möglich, zwei verschiedene Arten derselben Gattung zu kreuzen, und dies wird um so schwieriger, je weiter die Arten in ihren Eigenschaften voneinander abweichen. Noch schwerer ist es, Arten verschiedener Gattungen miteinander zu kreuzen; hierfür sind überhaupt nur ganz wenige sichergestellte Fälle bekannt.

Die Produkte der Kreuzung verschiedener Formen und Varietäten einer Art oder verschiedener Arten bezeichnet man ganz allgemein als Bastarde. Sie spielen in der Gärtnerei eine bedeutende Rolle. So gibt es viele Pflanzen, welche hauptsächlich nur in Bastardformen kultiviert werden; die meisten Kannen-

gewächse unserer Gewächshäuser sind Bastarde oder Hybriden, wie sie der Gärtner nennt.

Es zeugt sich nun bei den Bastarden dieselbe Erscheinung bezüglich des Grades ihrer Fruchtbarkeit; je leichter die Befruchtung zu erzielen war, um so fruchtbarer sind im allgemeinen die Nachkommen. Bei Bastarden im engeren Sinne oder Artbastardarten (d. h. durch Kreuzung zweier verschiedener Arten erzeugte Bastarde) sind die Nachkommen oft völlig unfruchtbar.

Alle Bastardformen stehen meist in der Mitte zwischen den Stammeltern, manchmal der einen, manchmal der anderen Art etwas näher, und zunächst sind unter den direkten Nachkommen oft alle Schattierungen zwischen den beiden Arten vorhanden. Manchmal aber zeigen Bastarde auch neue Eigenschaften; der Bastard zwischen *Populus pyramidalis* und *Populus monilifera* wächst dreibis viermal so rasch als jede der Stammarten.

Nicht selten ist auch die Kreuzung zwischen verschiedenen Bastarden oder zwischen einem Bastard und einer Art, so daß schließlich mehrere Stammarten in einem Bastard vereinigt sind. Der schlesische Weidenforscher Wichura konnte schließlich durch wiederholte Kreuzung von verschiedenen Arten einen Bastard erzielen, in welchem sechs verschiedene Weidenarten vereinigt waren. Allerdings neigen gerade die Weidenarten ganz besonders zum Bastardieren, und eine große Anzahl der im Freien vorkommenden Weidenpflanzen sind Bastarde.

ZWEITER ABSCHNITT

Die Verbreitung der Pflanzen

I. KAPITEL

Die Verbreitung der Pflanzen in vegetativem Zustande

DER weitaus größte Teil der Pflanzen ist während ihrer vegetativen Entwicklung durch ihre Wurzeln oder Haftorgane an einen bestimmten Platz gebannt und kann diesen ohne schwere Schädigung nicht verlassen. Ein kleinerer Teil dagegen, und zwar die im Wasser schwimmenden Pflanzen vermögen teils aktiv durch besondere Bewegungsorgane, teils passiv durch Wind oder Wasserströmungen getrieben, zu wandern.

Bewegungsorgane kommen nur niederen Pflanzen zu, und zwar einigen Algen, außerdem gewissen Fortpflanzungszellen anderer Algen und einiger Pilze und den Spermatozoiden der Moose und Farne. Ferner sind viele Bakterien und auch die Schleimpilze während gewisser Entwicklungsstadien beweglich.

Bei den Schleimpilzen (Myxomyceten) ist der ganze vegetative Pilzkörper während längerer Zeit amöboid beweglich. Das Plasmodium kriecht in dem Substrat umher und vermag im Lauf seiner Entwicklung je nach den Verhältnissen fuß- oder selbst meterlange Strecken zurücklegen. Die Verbreitung durch diese aktive Bewegung ist also eine ziemlich beschränkte und jedenfalls viel geringer, als die durch die leichten vom Winde weit fortgetragenen Sporen. Die Beweglichkeit des Plasmodiums hat auch nicht die Aufgabe, die Verbreitung der Art zu befördern, sondern dient lediglich Ernährungszwecken.

Auch bei den Bakterien, die eine ausgesprochene durch Geißeln bewirkte Schwimmbewegung zeigen, sind die zurückgelegten Strecken verhältnismäßig sehr klein; sie dienen den Zellen in erster Linie dazu, sich bezüglich Nahrung, Sauerstoffspannung und Licht in die günstigste Lage zu setzen, wobei allerdings auch eine, wenn auch langsame Weiterverbreitung in der Flüssigkeit erfolgt.

Schon wesentlich ausgiebiger sind die Bewegungen, welche einige, allerdings den Flagellaten nahestehende Algen ausführen. Die kleinen, sandkorngroßen Kugeln von *Volvox* bewegen sich mit einer schon für das bloße Auge merkbaren Schnelligkeit; da sie besonders eine gewisse Lichtintensität aufsuchen, so läßt

sich die Geschwindigkeit der Kugeln leicht messen. In einer Porzellanuntertasse, die bis fast zum Rande mit Wasser gefüllt war, wurden an dem einen Ende einige hundert Volvoxkolonien so eingesetzt, daß sie nur in einem Umkreis von wenigen Zentimetern verstreut waren. Dann wurde die Untertasse mit einem Brett bis auf einen kleinen Spalt an der entgegengesetzten Seite, durch welchen das Licht einfiel, bedeckt. Nach $1\frac{1}{2}$ Stunden langten die ersten Volvoxkugeln an dieser vom Licht getroffenen Stelle an; sie hatten in dieser Zeit einen Weg von 16 Zentimetern zurückgelegt. Nach $2\frac{1}{2}$ Stunden war die weitaus größte Mehrzahl der Volvoxkugeln im Licht, aber einzelne waren auch nach 4 Stunden noch unterwegs. Die Geschwindigkeit war also bei den einzelnen Individuen sehr ungleich, die schnellsten legten 1 cm Weg in 5 Minuten und etwa 40 Sekunden zurück. Je nach der Temperatur des Wassers, der Intensität des einfallenden Lichtes und anderen auf den Grad der Geschwindigkeit einwirkenden Verhältnissen, kann sich natürlich diese Geschwindigkeit beträchtlich ändern. Aber unter Zugrundelegung der gleichen Geschwindigkeit würde eine Volvoxkugel bei gleichbleibender Richtung in einem Tag zu 12 Stunden einen Weg von 127 cm, in einer Woche von rund 9 m zurücklegen. Hier ist also, wenn auch in der freien Natur andere Verhältnisse vorliegen, die Möglichkeit zu einer Verbreitung durch Eigenbewegung gegeben. Dieselbe ist sogar so beträchtlich, daß sie zu einer vollständigen Besiedelung kleiner Gewässer während einer Vegetationsperiode führen kann.

In ähnlicher Weise wie die Volvoxkugeln verhalten sich noch die andern Vertreter derselben Familie, ferner die nahe verwandten, aber aus einzelnen freien Zellen bestehenden Chlamydomonaden. Ähnlich sorgen aber auch die Schwärmsporen vieler Algen für die Verbreitung der Art, und gerade die ungeschlechtlichen beweglichen Schwärmsporen durchheilen während ihrer zuweilen mehrere Stunden währenden Schwärmzeit Strecken von vielen Zentimetern. Dann setzen sie sich freilich fest und wachsen zu neuen unbeweglichen Individuen aus, die erst wieder von neuem Schwärmsporen bilden müssen, um eine weitere Verbreitung zu erzielen. Indessen, da sich dieser Prozeß im Laufe einer Vegetationsperiode bei manchen Algen mehrmals wiederholt, kann doch auch hierbei eine gewisse Ausbreitung, oft mehrere Meter weit vom Ausgangspunkt erzielt werden, und die Schwärmsporenbildung ist jedenfalls das wichtigste Hilfsmittel der Algen zur allmählichen gleichmäßigen Besiedelung eines kleineren Gewässers.

In anderer Weise kommt bei den Diatomeen und Desmidiaceen eine unter Umständen ebenfalls nicht unbeträchtliche aktive Ausbreitung zustande. Sie können sich nur gleitend auf einem Substrat fortbewegen, aber nichtsdestoweniger können sie sich doch in einem Tage ebenfalls mehrere Zentimeter weit bewegen. Ein nicht näher bestimmtes Closterium (Desmidiacee) wanderte in einer Untertasse dem Lichte entgegen in einem Tage 12 cm. Auch die Fäden von Beggiatoa, Spirulina und Oscillatoria kriechen auf den von ihnen bewohnten Substraten umher und vermögen sich selbst gegen langsamfließendes Wasser in den Graben auszubreiten. Legt man eine Oscillatorien enthaltene Schlammasse in einen mit Wasser gefüllten Teller, so überziehen die zarten, blaugrünen Fäden nach kürzerer

oder längerer Zeit den ganzen Teller; bei *Oscillaria princeps* betrug die Bewegung innerhalb 25 Stunden 9,4 cm. Die Bewegung selbst ist ein Vorwärts- und Rückwärtsschrauben des Fadens und gewöhnlich wechseln beide miteinander ab, so daß die allmähliche Ausbreitung viel langsamer vor sich geht, als dies nach der Schnelligkeit der Bewegung zu erwarten wäre.

Passiv werden viele Wasserpflanzen, die nicht wurzeln, oder abgerissene Teile wurzelnder Pflanzen durch Wasser- und Windströmungen, auch durch Tiere verschleppt. Am leichtesten kann man sich davon überzeugen, wenn in größeren stehenden Gewässern solche schwimmende Pflanzen, wie Wasserlinsen, oder wie in vielen Teichen Oberschlesiens das zierliche Wasserfarn *Salvinia natans*, in stillen Buchten dichte Überzüge über den Wasserspiegel bilden. Bei Änderung der Windrichtung verschwindet der Überzug oft bis auf wenige Reste, die sich zwischen Schilfstengeln festhalten und man findet die schwimmende Pflanzendecke nach wenig Tagen oft meilenweit entfernt an Stellen, wo man vorher kein Pflänzchen entdecken konnte. So sorgt der Wind dafür, daß alle an der Oberfläche des Wassers freischwimmende Pflanzen sich in oft ziemlich großen Gewässern verteilen und ansiedeln.

Auch Flüsse und Meeresströmungen übernehmen die Verbreitung vieler Pflanzen, und hier sind es nicht bloß freischwimmende, unter denen wieder Wasserlinsen am häufigsten sind, sondern auch losgerissene Teile von Arten, die im Grunde der Gewässer wurzeln. Sehr viele derselben besitzen ein großes Reproduktionsvermögen und selbst die kleinsten Zweigchen können sich, wie bei der Wasserpest zu neuen Pflanzen entwickeln. Bei Flüssen bewirken namentlich Hochwasser oft einen sehr bedeutenden Transport lebender Pflanzen; nicht nur werden hierbei infolge der stärkeren Wasserströmung viele Zweige von Wasserpflanzen abgerissen und fortgeschwemmt, sondern es werden auch aus toten Flußarmen, selbst aus Tümpeln, die in der trockenen Zeit gar nicht mit dem Fluß in Verbindung stehen und in denen sich eine ganz abweichende Flora entwickeln konnte, die Pflanzen fortgerissen und beim Fallen des Wassers in anderen toten Armen oder vielleicht ebenfalls in Tümpeln zurückgelassen. So zeigt sich, daß Pflanzen, die im Oberlauf eines Flusses auftreten, diesen sehr oft bis fast zur Mündung begleiten, wenn die sonstigen Lebensbedingungen geeignet sind.

Doch nicht bloß Wasserpflanzen, sondern auch manche Landpflanzen können bei Hochwasser vom Strom fortgerissen und so gewissermaßen verpflanzt werden, ohne daß ihnen diese Wasserreise und Wohnungsveränderung viel schadet. Viele freilich werden an ungeeignete Plätze gelangen und eingehen, aber manchen, besonders den ohnehin in der Nähe des Wassers heimischen Arten, mag es gelingen, ein Plätzchen zu finden, an dem sie sich auch weiter zu entwickeln vermögen.

Im Meere sind es hauptsächlich Algen, die die Pflanzenwelt repräsentieren; die Zahl der Blütenpflanzen des Meeres ist gering. Aber die Algen sind von den kleinsten, nur unter dem Mikroskop erkennbaren Arten bis zu den längsten überhaupt bekannten Pflanzenformen in zahllosen Formen vertreten; werden doch von einzelnen Arten der Gattung *Sargassum* Längen von 300 m angegeben. Wahrscheinlich wurzeln diese großen Algenformen ursprünglich alle an flachen

Stellen des Meeres im Grunde oder an Felsen und Steinen, werden später aber losgerissen und von Wind, Wellen und Meeresströmungen oft tausende von Meilen fortgeführt, ohne ihre Entwicklungsfähigkeit ganz einzubüßen. Oft werden sie zu mächtigen Watten zusammengetrieben und bilden dann an der Oberfläche des Meeres schwimmende Rasen oder vielmehr dichter und lockerer verflochtene Pflanzenmassen, die gefürchteten Sargassummeere, die der Schifffahrt, namentlich den Dampfern sehr unangenehm werden können, indem sich die langen, zähen Stengel um Räder und Schrauben wickeln und sie in ihrer Bewegung hindern. Bei dieser Verbreitungsweise ist es begreiflich, daß viele Arten ein enormes Gebiet bewohnen, welches allerdings durch die Richtung der Meeresströmungen und der Winde gestaltet wird.

Kleinere Pflanzen, besonders Algen, oder auch kleine vegetative Teile größerer Pflanzen werden auch durch Wasser bewohnende Tiere verschleppt und können sich in Gewässern ansiedeln, die mit denen, aus welchen sie stammen, keine direkte Verbindung besitzen.

Bei zahlreichen Stockenten wurde sofort nachdem sie geschossen waren, eine Untersuchung der Ruder vorgenommen, solange es das Tageslicht noch gestattete, oder sie wurden sorgfältig in Pergamentpapier eingewickelt und zu Hause untersucht. Nicht gerade häufig, aber doch in vereinzelt Fällen fanden sich kleine Zweige phanerogamer Wasserpflanzen um die Füße gewunden oder zwischen den zusammengefalteten Schwimmhäuten der Ruder festgeklemmt. Besonders waren es kleine, oft nur zentimeterlange Sprosse der Wasserpest und die auch hier am häufigsten auftretende kleine Wasserlinse (*Lemna minor*), vereinzelt auch Ästchen grasblättriger Laichkräuter oder von Wassersternen (*Callitriche*), welche gefunden wurden. Indessen war doch die Zahl der Enten, bei denen größere Pflanzen, wenn auch in kleineren Fragmenten, gefunden wurden, ziemlich gering¹; wenn man aber bedenkt, wie oft Enten ihren Aufenthaltsort wechseln, und welche weite Strecken sie oft in der Luft zurücklegen, so wird man begreiflich finden, daß sie in hervorragender Weise für die Verbreitung einzelner Pflanzenarten tätig sind. Besonders die Wasserpest verdankt ihre Ansiedelung in rings geschlossenen Gewässern, in Fischteichen, Tümpeln, Ausstichen usw. hauptsächlich den Wildenten. Und diese Verbreitung findet bei uns nur in vegetativem Zustande statt, da ja nur die weibliche Pflanze bei uns vorkommt und keine Samen erzeugt werden.

Noch mehr als diese großen Wasserpflanzen werden aber die mikroskopisch kleinen, die Algen von Enten verschleppt, und man findet bei genauer Untersuchung der von den Füßen abgekratzten Masse oft eine ganze Fülle der verschiedensten Algenformen, die doch nur lose anhaften und leicht im nächsten Wasser abgestreift werden. Ähnlich wie Enten mögen nun die andern Wasservögel, insbesondere auch die Fischreiher für die Verbreitung von Wasserpflanzen sorgen; aber nicht bloß diese, sondern die zahlreichen Wasserkäfer und andere flugfähige

¹ Unter mehr als 500 Enten, welche im Laufe von 20 Jahren hierauf untersucht wurden, fanden sich in 18 Fällen Sprosse von phanerogamen Wasserpflanzen; die Untersuchung war allerdings oft nur sehr oberflächlich.

Wasserinsekten übertragen kleine Algen innerhalb der von ihnen durchstreiften Gebiete von einem Gewässer zum andern. Man braucht nur einmal die Füße irgendeines Wasserkäfers einer genauen mikroskopischen Prüfung zu unterziehen und wird, wenn auch zuweilen die Ausbeute minimal ist, in andern Fällen über die Menge der anhaftenden Algenindividuen und auch zuweilen der Arten staunen. Naturgemäß ist der Kreis, innerhalb welchem die Verbreitung von Algen durch

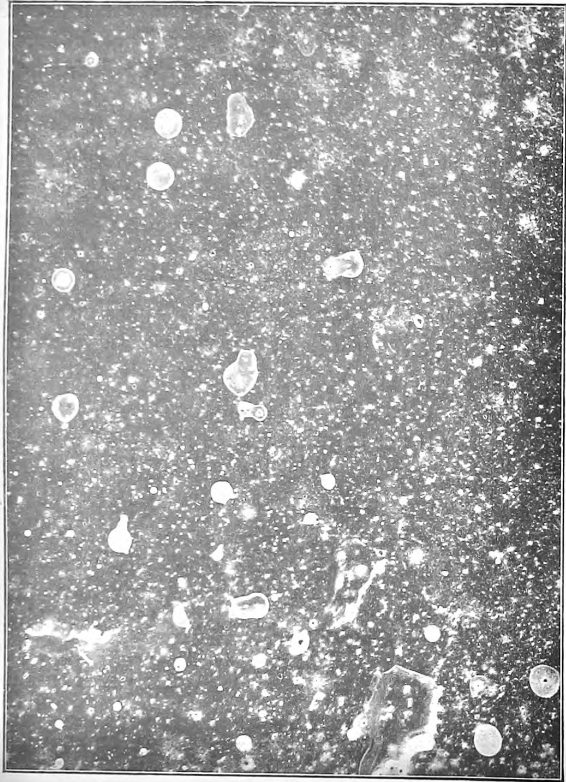


Fig. 51. Gelatineplattenkultur von Bakterien aus Staub

Wasserkäfer erfolgt, ein kleiner; dafür sorgen dann die größere Strecken durchwandernden Wasservögel, besonders zur Zugzeit, für weitere Verbreitung über ausgedehnte Gebiete. Dasselbe, was hier für Verbreitung von Pflanzen in vegetativem Zustande gesagt wurde, gilt natürlich und oft in weit höherem Maße für Samen der Blütenpflanzen und Sporen der Kryptogamen.

Durch den Wind werden vegetative Zustände größerer Pflanzen wohl nur ausnahmsweise verbreitet, wenn von den oben geschilderten Verhältnissen bei Wasserpflanzen abgesehen wird. Die feste Bewurzelung im Boden setzt der Fortbewegung durch den Wind einen beträchtlichen Widerstand entgegen, und

sind die Pflanzen dennoch entwurzelt, so gehen sie auch gewöhnlich bald zugrunde. Kleine Pflanzen dagegen, einzellige mikroskopische Algen und namentlich Bakterien, die oft längere Zeit Austrocknung zu ertragen imstande sind, werden auch häufig weit durch den Wind fortgeführt und dadurch verbreitet. Deshalb sind gerade diese Organismen, besonders die Bakterien, wahre Kosmopoliten; der Wind führt sie überall hin, und sie entwickeln sich, wo ihnen Nahrung, Feuchtigkeit und Wärme geboten wird.

Bei den Bakterien kommt nun noch die außergewöhnliche Widerstandsfähigkeit gegenüber Austrocknung hinzu. Selbst in vegetativem Zustande vermögen einzelne Arten sich viele Monate lang völlig ausgetrocknet am Leben zu erhalten. Man kann sich davon leicht überzeugen, wenn man irgendwo aus staubigen Orten, z. B. vom Boden eine größere Menge Staub zusammenfegt und in mit Watte dicht verschlossene Glasgefäße bringt. In dem Staube sind zahllose Bakterienkeime enthalten, von denen auch noch nach Jahren eine beträchtliche Anzahl am Leben sind. Mischt man eine kleine Spur des Staubes, so viel wie ein Rapskorn, mit etwas Nährgelatine, gießt die Mischung auf sterilisierte Glasplatten aus und läßt diese mit Glasglocken bedeckt stehen, so entwickelt sich jeder lebensfähige Keim zu einer nach und nach auch mit dem bloßen Auge erkennbaren Kolonie. Form und Farbe der Kolonien lassen schon äußerlich verschiedene Bakterienarten erkennen, und wenn man nach vier Wochen wieder solche „Plattenkulturen“ anlegt, so wird man im allgemeinen dieselben Arten auf den Platten entwickelt sehen. Ein Teil derselben bildet allerdings Sporen, also besondere Dauerzustände, ein anderer Teil bringt es aber niemals zur Bildung von Sporen, und da wir unter keinerlei Verhältnissen bei ihnen Sporenbildung herbeiführen können, so muß auch angenommen werden, daß sie sich im Staube in rein vegetativem Zustande finden. Trotzdem aber lassen sich auch diese nicht Sporen bildenden Arten wenigstens teilweise noch nach Monaten im Staube nachweisen.

Bei der Kleinheit und leichten Beweglichkeit der Bakterienzellen genügen natürlich die leichtesten Luftströmungen schon, um sie über große Strecken fortzuführen. Die Luft ist deshalb auch niemals ganz keimfrei, wenn auch auf hohen Bergen und zum Teil auch auf offenem Meere der Gehalt an Keimen ein sehr geringerer ist.

II. KAPITEL

Die Verbreitung der Pflanzen durch Ausläufer oder Brutknospen, oder in trockenem Zustande

Je höher die Pflanzen entwickelt sind, desto mehr sind sie im allgemeinen an ihre Geburtsstätte gebunden, an die sie sich festklammern oder in die sie mit ihren Wurzeln eindringen. Freilich gibt es auch Ausnahmen, wie sie im vorigen Kapitel beschrieben wurden. Das hängt damit zusammen, daß die höheren Pflanzen überwiegend der Landflora angehören und diese eben, wie übrigens auch viele Wasserpflanzen, mit ihren Wurzeln verankert sind. Reißen die Wurzeln

durch, so ist ihnen die Zufuhr von Wasser aus dem Boden abgeschnitten und sie verwelken. Sie können sich also nur bei ganz zufälligen Verhältnissen einmal in ihrer vegetativen Entwicklung von ihrem Geburtsort entfernen, ohne dabei zugrunde zu gehen.

Wohl aber kommen Fälle vor, in denen die ganze Pflanze kurz vor der Samenreife sich vom Boden löst und dann vom Winde über weite Strecken fortgeführt werden kann, was namentlich in Steppengegenden bei mehreren Pflanzenarten regelmäßig vorkommt. Am bekanntesten ist unter ihnen *Plantago cretica*, eine Wegbreitart des Orients, die auch bei uns in botanischen Gärten viel-



Fig. 52. *Plantago cretica*. Oben blühende wurzelnde, unten fruchtende entwurzelte Pflanze

fach kultiviert wird. Sie ist eine einjährige Pflanze, die in der kurzen Regenzeit der Steppen ihre Entwicklung beileben muß. Aber schon vor der vollständigen Samenreife oder höchstens gleichzeitig mit derselben vertrocknet die Wurzel in dem völlig ausgedorrten Boden, die Fruchtsiele biegen sich stark abwärts, stützen sich auf den Boden und heben durch den Druck, den sie dabei ausüben, die Pflanze schließlich völlig vom Boden ab, wobei die vertrocknete Wurzel zerreißt. Auch die Blätter sind vertrocknet abgerissen und oft nur in spärlichen Fragmenten noch erhalten, so daß der ganze übrig gebliebene Pflanzenrest aus den am Grunde zusammenhängenden und nach außen umgebogenen

Fruchtsielen mit einem kleinen Wurzelrest und verschiedenen Blattfragmenten besteht. Diese ballartigen, mit fortschreitender Austrocknung immer leichter werdenden Massen bilden nun ein Spiel der Winde in den öden, aller Vegetation entkleideten Steppen. Sie werden oft zu merkwürdigen gespensterhaften Gestalten zusammengefeigt, während der nächste Windstoß sie auseinanderjagt und an anderer Stelle vielleicht noch seltsamere Formen aus ihnen aufbaut. Sie und ähnliche Arten haben deshalb den bezeichnenden Namen Steppenhexen bekommen.

Weit mögen diese Steppenhexen in der langen trockenen, aber oft sehr windreichen Zeit umherwandern und dabei die inzwischen gereiften Samenkörner aus-

streuen. Sie sorgen dabei nicht nur für eine sehr ergiebige Ausbreitung der Art, sondern auch für fortwährende Kreuzung verschiedener nicht verwandter Pflanzen, die, wie bekannt, für die Entwicklung der Art besonders günstig ist.

Nicht selten kommen auch bei höheren Pflanzen einzelne vegetative Organe zur Entwicklung, die zur Verbreitung der Art bestimmt sind. Die Ausläufer können dies nur innerhalb eines beschränkten Gebietes tun, aber innerhalb einer Reihe von Jahren kann sich ein solches Gebiet doch auch hierdurch besiedeln. Man braucht nur an die Walderdbeere zu denken, die namentlich auf etwas feuchtem, fruchtbarem Boden sehr zahlreiche Ausläufer, im Volksmunde gewöhnlich fälschlich „Ranken“ genannt, im Laufe des Jahres ausbildet. An den Ausläufer entwickeln sich nach und nach selbständig werdende Pflänzchen, die oft noch in demselben Jahre neue Ausläufer entwickeln. Bei einer im Herbst in den Garten versetzten Walderdbeere, die im nächsten Jahre überaus zahlreiche



Fig. 53. Erdbeere mit Ausläufern

Ausläufer entwickelte, wurden im August die Tochterpflänzchen, die an solchen Ausläufern entstanden waren, gezählt; es waren 48. Damit war aber die vegetative Vermehrung der Pflanze in diesem Jahre durchaus noch nicht beendet, sondern es waren im Herbst noch zahlreiche neue Pflänzchen hinzugekommen, nur wurden sie, ohne gezählt zu werden, entfernt. Dabei hatten sich aber diese zahlreichen Pflänzchen nicht weiter als 48 cm von der Mutterpflanze entfernt, diese letztere hatte also in diesem einen Jahre unter allerdings günstigen Umständen einen Kreis von annähernd einem Meter Durchmesser eng besiedelt.

Auf weitere Entfernungen freilich versagt dieses Verbreitungsmittel, innerhalb eines eng begrenzten Raumes wirkt es aber um so intensiver, als die jungen Pflanzen nicht mit den gleichen Fährlichkeiten zu kämpfen haben, als die aus Samen entstehenden. Sie werden zunächst, bis sie selbst erstarkt sind und kräftige Wurzeln getrieben haben, noch von der Mutterpflanze ernährt, so daß sie von vornherein gegenüber der Konkurrenz anderer, aus Samen sich entwickelnder Pflanzen günstiger gestellt sind und weit sicherer den Boden erobern, als dies die Erdbeere durch Samen erreichen könnte. Übrigens haben die Ausläufer

mancher Pflanzen doch auch eine recht beträchtliche Länge; beim Schilfrohr (*Phragmites communis*) sind sie nicht selten zehn Meter und selbst darüber lang, ja bis 18 Meter wurden schon gemessen. Da geht natürlich die Ausbreitung wesentlich rascher.

Bei der Quecke (*Triticum repens*) haben die Ausläufer eine ganz außerordentliche Zählebigkeit, und das ist die Ursache, weshalb dieses Unkraut auf einmal von ihm in Besitz genommenem und ihm zusagendem Boden so schwer auszurotten ist. Bleibt nur ein Knoten zurück, so entwickelt sich sicher schon



Fig. 54. Wurzelstock der Quecke mit Ausläufern

nach wenigen Tagen ein neuer Queckenstock mit Ausläufern, der bald für die ergiebige Weiterverbreitung der lästigen Pflanze sorgt.

Neben den Ausläufern wirken in beschränktem Maße auch noch Knollen und Brutknospen für die Ausbreitung der Art. Die unterirdischen Knollen werden aber meist unmittelbar an der Mutterpflanze gebildet und kommen daher kaum für eine wirksame Ausbreitung in Betracht. Bei den oberirdisch ausgebildeten Brutknospen kann unter Umständen schon eher eine weitere Verbreitung stattfinden. Selbst die großen, schweren Brutknospen in den Blattachsen der Feuerlilie (*Lilium bulbiferum*) können beim Herunterfallen eine Strecke fortrollen, besonders, wenn die Pflanze an einem Abhang steht, oder sie können bei heftigen Regengüssen weit fortgeschwemmt werden. Weit wirksamer

sind aber die Einrichtungen, welche eine Anzahl zentralamerikanischer Kakteen, besonders *Mamillaria*-arten, an ihren Brutknospen für die Weiterverbreitung besitzen. Es entwickeln sich nämlich an ihnen kleine kugelige oder eiförmige Sprosse mit sehr dichter feiner Bestachelung, die nach einiger Zeit aufhören zu wachsen und schließlich nur lose an der Mutterpflanze anhaften. Streift ein behaartes Tier an eine solche *Mamillaria* an, so hängen sich die Dornen zwischen den Haaren fest, die junge Brutknospe reißt von der Mutterpflanze los und wird

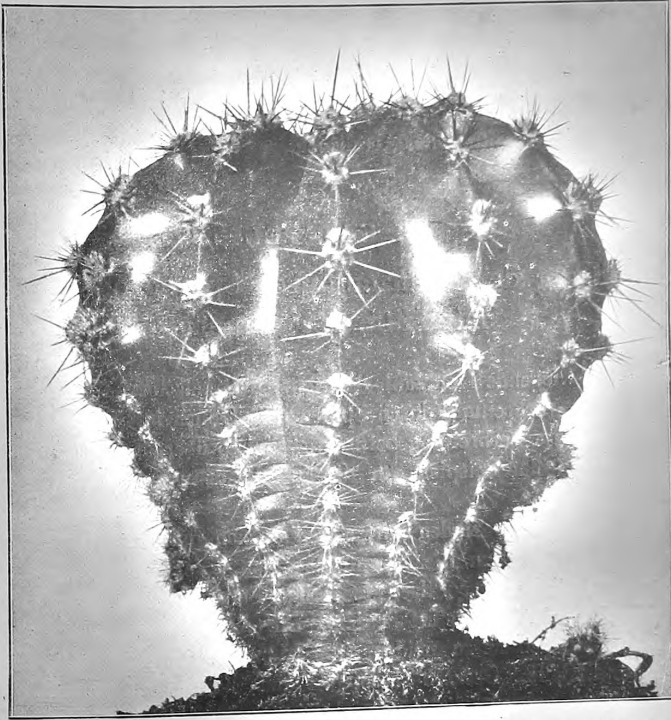


Fig. 55. Kaktus mit Brutknospen. Rechts ist eine Brutknospe abgefallen und liegt an der Erde

von dem Tier weiter geschleppt, bis sie irgendwo, vielleicht erst in weiter Entfernung, wieder abgestreift wird. Kommt aber kein Tier vorbei, so fallen schließlich die Brutknospen von selbst ab, werden vom Winde hin- und hergerollt, bis sie schließlich irgendwo an einer vertieften Stelle des Bodens liegen bleiben. Sie kommen dabei immer in einer ganz bestimmten Stellung auf den Boden zu liegen, nämlich mit der stachelfreien Fläche, mit welcher sie vorher an der Mutterpflanze festsaßen. So wie sie auf diese Seite fallen, sind sie natürlich schwerer zu bewegen, als auf der übrigen Oberfläche, die durchaus rund ist. Dadurch kommt aber auch der eigentliche Sproß direkt mit dem Boden in Berührung und kann bei der geringsten Bodenfeuchtigkeit zur Wurzelbildung an-

geregert werden, was viel schwerer möglich wäre, wenn er auf den Stacheln liegen würde, die den eigentlichen Sproß von der Berührung mit dem Boden abhalten.

Auch viele Wasserpflanzen, so beispielsweise die bereits mehrfach genannte *Elodea canadensis*, bilden am Ende der Vegetationszeit Knospen aus, die den Brutknospen ähneln; gewöhnlich bilden sich die Spitzen der Triebe dazu um. Sie haben allerdings in erster Linie den Zweck, das Leben der Pflanze während der ungünstigen, kalten Jahreszeit zu erhalten, und man nennt sie deshalb auch Winterknospen. Sie sinken, während die übrige Pflanze zerfällt, auf den Grund der Gewässer in den Schlamm und bleiben hier liegen, bis sie im Frühjahr zu neuen Pflanzen heranwachsen. Durch Strömungen, auch durch Tiere werden sie aber zuweilen fortgeführt und können sich dann im Frühjahr an einer ganz anderen Stelle entwickeln, als die festgewurzelte Mutterpflanze, sie können also ebenfalls der Ausbreitung der Art dienen.

III. KAPITEL

Verbreitung der Pflanzen durch Sporen oder Samen mit Hilfe des Windes

Für die überwiegende Mehrzahl der höheren Pflanzen von den Moosen an kommt allein die Verbreitung durch Sporen oder Samen in Frage, und die Einrichtungen, die diese Verbreitung befördern, sind so überaus mannigfaltige, daß auch hier nur einzelne Beispiele für die auffallendsten Erscheinungen gegeben werden können.

Bei den Kryptogamen finden wir, soweit es sich um Landpflanzen handelt, daß der Wind bei weitem die Hauptrolle spielt. Die mikroskopisch kleinen, äußerst leichten Sporen der Pilze, Moose und Farne, bieten ja auch der Fortführung durch den Wind, selbst bei leisen Luftzügen, keine Schwierigkeit, nur die Feuchtigkeit haben sie zu meiden, denn schon der kleinste Tautropfen fesselt sie an Ort und Stelle. Deshalb finden wir auch bei vielen Sporenpflanzen besondere Einrichtungen, um die Feuchtigkeit von den Sporen abzuhalten, damit sie bei Tau und Regen nicht naß werden, sondern sofort ausstäuben können, wenn ein trockener Windzug dies gestattet. Am schönsten und kompliziertesten ist diese Einrichtung bei vielen Moosen ausgebildet.

Die Mooskapsel, welche die Sporen enthält ist, solange die letzteren noch unreif sind, durch einen Deckel geschlossen; später fällt dieser ab, doch zeigt sich unter ihm ein zweiter Verschuß des Kapselmundes, der allerdings keinen zusammenhängenden Deckel bildet, sondern aus meist 16 oder 32 am Kapselrande aufsitzenden und nach innen gebogenen Zähnen besteht, die oft eine sehr zierliche Zeichnung besitzen. Diese Zähne des sog. Mundbesatzes oder Peristoms sind nun hygroscopisch; bei feuchter Luft biegen sie sich einwärts und legen sich, da sie sich von einer breiten Basis nach der Spitze zu stark verschmälern, so dicht aneinander, daß sie den Sporenhalt der Kapsel vollkommen vor

Feuchtigkeit schützen. Sobald aber Regen und Tau aufgetrocknet sind, besonders unter den erwärmenden Strahlen der Sonne oder unter trockenen Luftströmungen biegen sich die Peristomzähne nach außen und lassen den Eingang zur Kapsel frei. Derselbe Hauch, der die letzten Spuren von Feuchtigkeit mit fortgeführt hat, weht auch aus der nunmehr geöffneten Mooskapsel die leichten Sporen heraus und trägt sie oft über weite Strecken mit sich. Deshalb sind auch viele Moosarten so weit verbreitet und siedeln sich rasch da an, wo sich für sie die Entwicklungsbedingungen bieten. Man wundert sich oft, woher plötzlich an einer Stelle eine bestimmte Moosart in Menge auftritt, die man da vorher gar nicht bemerkt hat. Es haben sich eben aus irgendwelchen Ursachen die Bedingungen für die Entwicklung dieser Art günstig gestaltet, und da die Sporen überallhin vom Winde verschleppt werden, so waren sie auch zur rechten Zeit da, um von dem neuen Platz Besitz zu ergreifen. Vielleicht hätte der Platz auch für irgend-

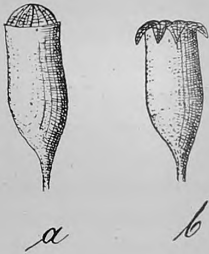


Fig. 56. Mooskapsel mit *a* geschlossenem, *b* offenem Peristom

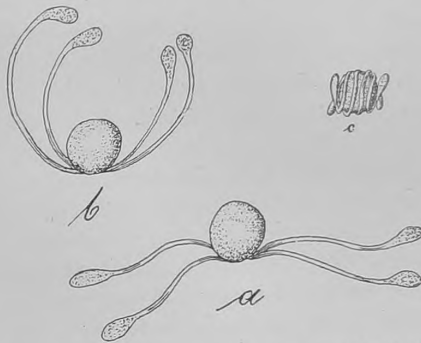


Fig. 57. Schachtelhalmsporen. *a* aufgerollt, *b* halbaufgerollt, *c* zusammengerollt

eine andere der häufigeren Arten sich gut geeignet, aber er war schon besiedlungsfähig, ehe die Sporen dieser Art reif wurden, und diese fanden daher den Platz schon besetzt, als sie ankamen.

Mit einer merkwürdigen Regelmäßigkeit ergreift ein kleines, durch die langen, schwanenhalsartig gebogenen Kapselstiele leicht erkennbares Moos, *Funaria hygrometrica*, Besitz von alten Feuerstellen im Walde. Wo sich Holzarbeiter, Zigeuner oder spielende Kinder ein Feuer im Walde angezündet haben, kann man mit Sicherheit darauf rechnen, im nächsten Jahre einen dichten Wald dieses kleinen zierlichen Moores zu finden. Wie abgegrenzt wachsen die dichtgedrängten Stämmchen gerade nur auf der eigentlichen Feuerstelle, während man in der ganzen Nachbarschaft gar keine oder nur ganz zerstreute Pflänzchen findet. Es wäre natürlich absurd, anzunehmen, daß die vom Winde fortgeführten Sporen sich gerade auf diese Feuerstellen konzentrierten, vielmehr unterliegt es keinem Zweifel, daß die Sporen auch in der ganzen weiteren Nachbarschaft in ähnlicher Weise ausgestreut wurden, nur nicht die guten Bedingungen für die Entwicklung fanden. Es ist aber doch ein überaus lehrreiches Beispiel für die Verbreitung der Moossporen.

Einen ganz eigentümlichen Mechanismus zur Verbreitung besitzen die Sporen der Schachtelhalme. Es sind auch sehr kleine kugelige Körperchen, die mit bloßem Auge nicht erkennbar sind. Die aus einem Sporangienstand von Schachtelhalmen herausgeschüttelte Sporenmasse stellt zuerst ein sehr feinkörniges, lockeres, grünes Pulver auf dem Papier da. Nach wenigen Sekunden ändert sich aber die Farbe in Graugrün, die Masse erscheint voluminöser und hängt flockig zusammen. Betrachtet man eine kleine Probe dieser Sporenmasse unter dem Mikroskop bei schwacher Vergrößerung und ohne ein Deckgläschen überzudecken, so zeigt sich, daß die kugeligen Sporen zwei scheinbar kreuzweise in ihrer Mitte angeheftete, in der Tat aber winkelig gebogene und an den Enden etwas verbreiterte Bänder tragen. Haucht man, ohne das Auge vom Mikroskop zu entfernen, leicht auf den Objektträger mit den Schachtelhalmsporen, so kommt auf einmal reges Leben in dieselben. Die Bänder legen sich blitzschnell spiralig um den Sporenkörper und das ganze Bild ist plötzlich verändert. Allmählich, wie die Feuchtigkeit des Hauches trocknet, lösen sich die Bänder wieder von den Sporen und strecken sich aus, um sich bei einem neuen Hauch ebenso plötzlich wieder einzurollen. Es sieht aus, als ob eine Gesellschaft kleiner Spinnen plötzlich ihre Beine einzieht und sich totstellt.

Die Bewegungen der Sporenbänder sind hygroscopische Krümmungen, dadurch bedingt, daß die eine Seite, die Oberseite der Bänder, sehr leicht Wasser aufnimmt und dadurch ihr Volumen vergrößert, während die nicht hygroscopische Unterseite das gleiche Volumen beibehält. Dadurch muß natürlich eine Verlängerung der Oberseite und damit eine Krümmung des Bandes eintreten; verdunstet das aufgenommene Wasser wieder, so streckt sich natürlich auch das Band wieder gerade, da die Ungleichheit in der Ober- und Unterseite verschwindet. Bei diesen hygroscopischen Krümmungen werden aber die leichten Sporen hin- und hergeschwungen und wandern, wenn auch nur kleine Strecken, weiter. Zweifellos findet ja auch bei den Schachtelhalmsporen die eigentliche Verbreitung durch den Wind statt, aber die einmal niedergefallenen und zwischen Moos und Gras verborgenen und dem Wind nicht mehr zugänglichen Sporen können doch innerhalb eines kleineren Bezirkes wandern und dabei namentlich aus unvorteilhaften Lagen, z. B. auf Blättern, in günstigere, in Erdspalten gelangen, wo sie sich entwickeln können.

Der Wind spielt auch bei den Blütenpflanzen die Hauptrolle in bezug auf die Samenverbreitung, und wir finden bei ihnen eine große Anzahl von besonderen Einrichtungen — Flugapparaten — ausgebildet, welche das Schweben des Samens in der Luft erleichtern. Dies geschieht ganz allgemein dadurch, daß die Oberfläche im Verhältnis zum Gewicht des Samenkorns relativ groß wird, und wir können hieran sofort einen für die Verbreitung durch Wind eingerichteten Samen gegenüber anderen, die etwa auf Verbreitung durch Tiere angewiesen sind, erkennen.

Im einfachsten Falle ist allerdings weniger eine auffallende Ausbildung der Samenform vorhanden, sondern, wie bei den Sporen der Kryptogamen ist es mehr die Kleinheit und Leichtigkeit der Samen, welche sie für den Transport durch

den Wind geeignet macht. Unter den bei uns heimischen Pflanzen sind es besonders die Orchideen, die so kleine, vom Wind leicht fortgeführte Samen bilden, die sich auch noch durch ihr geringes spezifisches Gewicht auszeichnen. Die aus einer Orchideenfrucht gewonnenen Samen gleichen einem sehr feinkörnigen Pulver, und man würde in diesem Pulver mit bloßem Auge kaum Samenkörner vermuten, wenn man nicht besonders darauf aufmerksam gemacht würde. Deshalb wird auch diese Familie in die Ordnung der kleinsamigen, Mikrospermae gebracht.

Besonders wichtig ist diese Flugfähigkeit und gleichzeitig Kleinheit für die Samen der in den Tropen so verbreiteten epiphytischen Orchideen, die sich nicht auf dem Erdboden, sondern auf den Stämmen und Zweigen von Bäumen entwickeln. Die Samen müssen vom Winde leicht und hoch geführt werden können, um wieder auf Bäume zu gelangen, und sie müssen klein sein, um sich in den feinen Rindenritzen oder den engen Spalten und Öffnungen zwischen anderen bereits angesiedelten Epiphyten noch bis zum Stamm durchdrängen zu können. Deshalb sind auch gewöhnlich die Samen der epiphytischen Orchideen noch viel kleiner und namentlich leichter, als die der Erdorchideen, sie sind oft von einer schwammigen, aus lufthaltigen Zellen gebildeten Haut umgeben, welche wegen ihres geringen Gewichtes und großen Volumens die Flugfähigkeit des Samens noch bedeutend erhöht.

In andern Fällen sind die Samen zwar groß und durch keinen Flugapparat ausgerüstet, aber doch sehr leicht, oder sie bleiben lange Zeit in der sehr leichten Frucht eingeschlossen, die dann gewöhnlich auch noch so gestaltet ist, daß sie vom Winde leicht fortgerollt werden kann. Das ist z. B. der Fall bei vielen unserer Meldearten und verwandten Pflanzen. Auch die Knäuelfrüchte der Runkel- und Zuckerrübe entlassen ihre Samen nicht, sondern bilden mit diesen rundliche sehr leichte Ballen, die bei trockenem Wetter vom Winde weit fortgerollt werden, bis sie irgendwo in einer Vertiefung des Bodens liegen bleiben.

Auch ganze Früchte oder Fruchtstände sind zuweilen mit Flugapparaten ausgerüstet, wofür unsere heimischen Linden Beispiele abgeben. Bei ihnen fallen weder die Samen aus, noch fallen die kugeligen Früchtchen ab, vielmehr fällt der ganze verzweigte Fruchtstand mitsamt dem Tragblatt ab, und dieses letztere, im Verhältnis zu den Früchten sehr groß, bietet dem Winde eine große Fläche, so daß bei einigermaßen starker Luftströmung die ganzen Fruchtstände weit fortgeführt werden; aber schon eine geringe Luftbewegung reicht hin, um sie wenigstens eine Strecke weit von der Mutterpflanze zu entfernen. Da sie aber noch mehr oder weniger fest mit den Zweigen der Mutterpflanze verbunden sind, so fallen sie bei windstillem Wetter nur in geringer Zahl ab, und erst die Kraft des Windes vermag sie loszureißen. Je stärker der Wind, desto mehr Fruchtstände werden losgerissen, und desto weiter werden sie fortgeführt, desto weiter kann die Ausbreitung des Samens erfolgen.

Vielfach übernehmen auch die Deckblätter die Rolle von Flugapparaten, so beim Hopfen, dessen Ähren bei der Samenreife allmählich zerfallen; die großen Deckblätter umfassen am Grunde die verhältnismäßig kleinen Samen und bieten dem Winde eine große Angriffsfläche, so daß sie weit getragen werden. Auch

die Spelzen vieler Gräser sind geeignet, die Verbreitung der Samen durch den Wind zu erleichtern, denn sie vergrößern die Oberfläche bedeutend, ohne dabei das Gewicht sonderlich zu vermehren. Bei den Getreidearten, deren Sammelkörner dauernd in Spelzen eingehüllt bleiben, z. B. beim Hafer, ist dies allerdings nur in geringerem Grade der Fall, weil hier das Gewicht des Kornes doch schon zu groß ist, wohl aber bei vielen unserer Wiesengräser, beim Zittergras (*Briza media*), bei *Holcus lanatus* und anderen.

Bei den Samen selbst sind die Flugapparate hauptsächlich in zweierlei Form

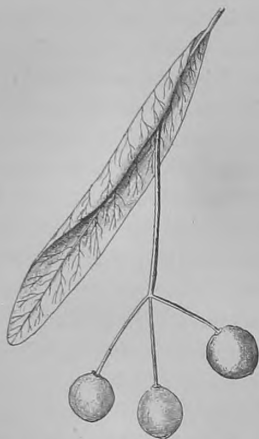


Fig. 58. Fruchtstand der Linde



Fig. 60. Geflügelte Samen von Nadelhölzern. *a* von der Kiefer, *b* von der Lärche, *c* von der Tanne, *d* von der Fichte



Fig. 59. Fruchtstand des Hopfens und einzelnes Hüllblatt mit Samen

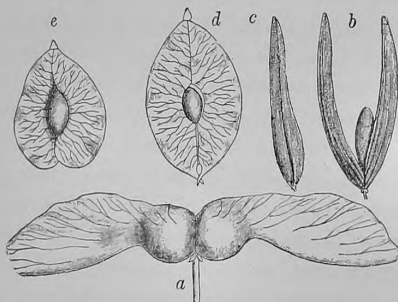


Fig. 61. Geflügelte Früchte *a* von Ahorn, *b* von der Esche geöffnet, *c* geschlossen, *d*, *e* von Ulmen

ausgebildet, entweder als breite, flügelartige Leisten oder Anhängsel, oder als Haare oder Borsten von sehr verschiedener Ausbildung.

Flügelartige Verbreitung der Samen ist sehr häufig und kommt in den verschiedensten Pflanzenfamilien vor. Wir finden sie schon bei den Nadelhölzern, wo unsere gewöhnliche Kiefer, Fichte, Tanne, Lärche diese Verbreitung zeigt. Bei der Kiefer z. B. ist das Samenkorn etwas einseitig aufwärts geflügelt, während auf einer Seite und unten der Flügel, der 4–5 mal so lang als das eigentliche Samenkorn ist, dieses letztere nur mit einem schmalen, zangenartigen Saum umgibt.

Die Einrichtung, daß das Samenkorn an dem einen Ende des Flügels sitzt, hat einen nicht unbeträchtlichen Einfluß auf die Fortbewegung. Durch das größere Gewicht hält das Korn den Flügel immer in senkrechter Lage, so daß der Wind auf die breite Seite des Flügels wirkt und dieser sich nicht parallel zu der Windrichtung einstellen kann. Das Ausfallen der Samen aus den Zapfen der Nadelhölzer erfolgt nun hauptsächlich bei trockenem, windigem Wetter, denn die Zapfenschuppen sind hygroskopisch und schließen in feuchtem Zustande so eng zusammen, daß die dazwischen eingeklemmten Samen nicht durch können. Da ferner der Ausfall zu einer Jahreszeit erfolgt, in welcher die Sonne meist noch keine hervorragende trocknende Wirkung auszuüben vermag, so wird die Austrocknung der Zapfen meist nur bei windigem Wetter so weit erfolgen können, daß die Samen ausfallen können, und dann sind auch die Bedingungen da, welche für eine Verbreitung der Samen sorgen.

Aber durchaus nicht bei allen Nadelhölzern findet eine Verbreitung der Samen durch den Wind statt, die beerenartigen Früchte von *Taxus* und *Juniperus* sind dazu ganz ungeeignet, und selbst innerhalb ein und derselben Gattung zeigen sich große Verschiedenheiten. Während bei *Pinus silvestris* die Flugfähigkeit der Samen durch den Flügel in hohem Grade ausgebildet ist, fehlt bei *Pinus Cembra*, der in den Alpen verbreiteten Zirbelkiefer, eine derartige Flugeinrichtung vollkommen, und das Samenkorn selber ist eine sehr viel größere und schwerere kleine Nuß.

Geflügelte Früchte kommen unter unseren Waldbäumen noch besonders bei Eschen, Ulmen, Ahornen, Birken vor, aber bei allen vieren liegen die Verhältnisse doch wieder ganz verschieden. Bei den oben erwähnten Flügeln der Kiefern Samen entstehen die Flügel frühzeitig aus den obersten Zellagen der Fruchtschuppe, bei den Laubhölzern sind es aber die Früchte selbst, die geflügelt sind, und zwar geht der Flügel bei den Ulmen rings um das mehr oder weniger zentral gelegene Samenkorn herum und wird, wie auch bei Ahorn und Esche, aus der Wand des Fruchtknotens gebildet. Beim Ahorn ist die Frucht zweiflügelig; es stoßen aber am Grunde zwei Samenkörner zusammen, und jedes Samenkorn ist durch die Fruchtknotenwand einseitig geflügelt. Bei der Esche endlich ist die Frucht nur einseitig geflügelt, der eine Samen am Grunde liegt zwischen den flügelartig verlängerten Fruchtblättern, die später auseinanderweichen und das zwischen ihnen an dem Samenfaden aufgehängte Samenkorn zeigen.

Seltener sind die Samen so stark geflügelt; gewöhnlich zeigt sich beginnende Flügelung nur bei flachgedrückten Samen als häutiger Rand, wie bei den Samen der *Levkoje*. In mehr oder weniger starker Ausbildung zeigen sich solche geflügelte Ränder noch an den Samen vieler *Cruziferen*, z. B. bei *Alyssum montanum*, *Lunaria*, bei einigen *Liliaceen* (*Lilium candidum*) beim Flieder und anderen.

Weit augenfälliger und im allgemeinen auch noch leistungsfähiger sind die Flugapparate, die sich in Form von Haaren oder Borsten an den Samenkörnern befinden. Das Ausfliegen der Pappel- oder Weidensamen oder der Samen des gewöhnlichen Löwenzahns ist ein so häufig vorkommendes Ereignis, daß es wohl jeder schon einmal beobachtet hat.

Gerade bei den Compositen oder Korbblütlern besitzt eine große Anzahl von Arten überaus wirksame Flugapparate, unter denen die des Löwenzahns (*Taraxacum officinale*) besonders vollkommen organisiert sind. Betrachtet man ein Körbchen dieser Pflanze zur Zeit der Samenreife, aber noch ehe die Samen ausgeflogen sind, so zeigt sich eine weiße, aus feinen, scheinbar nach allen Richtungen auseinanderstehenden Haaren gebildete lockere Hülle um das kleine Köpfchen mit den zurückgeschlagenen Blättern des Außenkelches. Bläst man kräftig darauf, so stieben die kleinen Haarbüschel davon, und wenn man eins auffängt und näher betrachtet, so zeigt sich ein Samenkorn, welches auf seinem Scheitel einen Stiel mit einem zierlichen Haarbüsch am Ende trägt. Das ist ein ausgezeichneter Flugapparat, und bei leichtem Winde werden die abgeblasenen Samen-

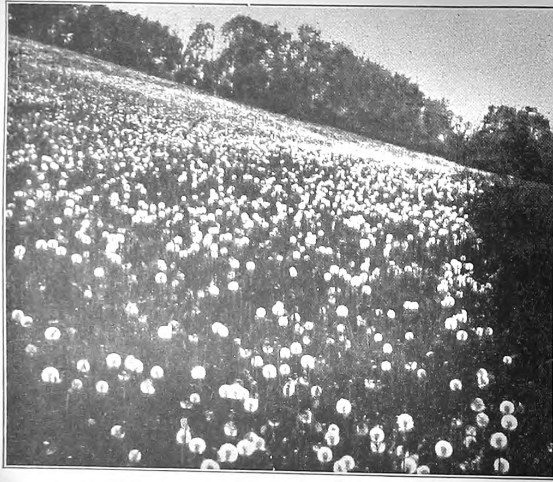


Fig. 62. Grashang mit zahlreichen Fruchtköpfchen des Löwenzahns

körner weit fortgeführt. Schon der geringste Lufthauch, den man noch kaum empfindet, vermag die Samen langsam schwebend fortzutragen, und wie oft begegnet man auf einem Spaziergange an warmen Sommermorgen solchen fliegenden Samenkörnern. Welche Unmasse von Samen der Löwenzahn unter Umständen produzieren kann, zeigt Fig. 62, die eine allerdings besonders reich mit ihm bestandene Grashalde wiedergibt. Die Masse der gleichzeitig reifen Köpfchen bedeckt die Wiese wie mit einem weißen Schleier, und ein einziger starker Windstoß kann Millionen von Samen forttragen. Jede Pflanze bringt aber im Laufe der Vegetationsperiode viele solche Köpfchen hervor, und zieht man dabei noch die besonders ausgezeichnete Flugfähigkeit der Samen in Betracht, so ist es kein Wunder, daß der Löwenzahn zu den unausrottbarsten Unkräutern auf unseren Gartenbeeten gehört.

Auch die Richtung, in welcher das Samenkorn dabei gehalten wird, ist nicht ohne Bedeutung; mit der Spitze nach unten wird der längliche Samen schwebend erhalten, und so senkt er sich auch schließlich zu Boden und ermöglicht durch

diese Lage am besten ein, wenn auch zunächst geringes Eindringen in kleine Vertiefungen zwischen den Bodenpartikelchen. Die Haarkrone fällt schließlich ab und der Samen hat dann sein Flugvermögen verloren.

Viele Korbblütler haben ganz ähnlich gebildete Haarkronen; auch hier ist es nicht eigentlich der Samen selbst, der die Haarkrone trägt, sondern die Frucht, denn was man bei den Korbblütlern gewöhnlich als Samen bezeichnet, ist eine einsamige Frucht, die Achaene, und die Haarbildungen gehen aus den sonst nur unbedeutend entwickelten Kelchblättern hervor. Sie entwickeln sich auch erst zu dem Haarschopf (Pappus), wenn die Früchte zu reifen beginnen.

Die Haare solcher Flugapparate können aber nur bei trockener Luft zweckentsprechend funktionieren, bei Regen, oder selbst, wenn sie nur vom Tau benetzt

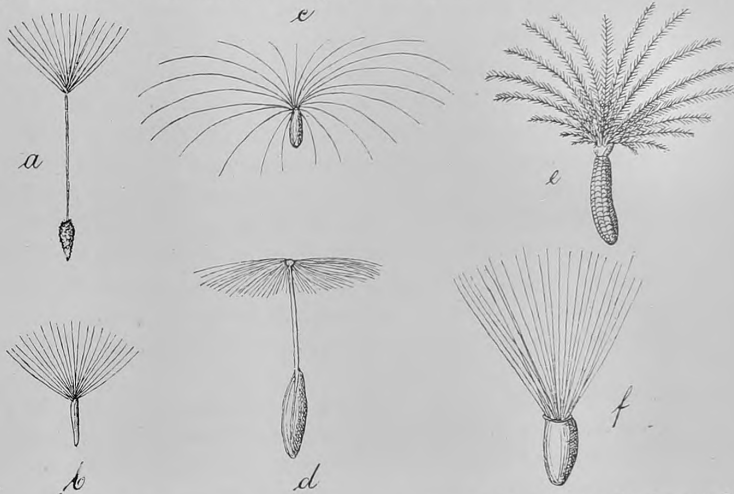


Fig. 63. Samen mit Flugapparaten a von *Taraxacum officinale*, b von *Senecio vulgaris*, c von *Sonchus arvensis*, d von *Lactuca virosa*, e von *Picris hieracioides*, f von *Carduus nutans*

sind, kleben sie zusammen und versagen den Dienst. Sie würden auch schon durch die anhaftende Feuchtigkeit so beschwert sein, daß darunter das Flugvermögen des Samens völlig beeinträchtigt werden würde. Deshalb fliegen sie auch nur bei trockenem, besonders etwas windigem und sonnigem Wetter aus und die meisten Pflanzen besitzen noch besondere Vorrichtungen, um die Loslösung von Samen mit solchen Haarflugapparaten bei nassem Wetter zu verhindern. Das ist auch beim Löwenzahn der Fall. Am frühen Morgen, solange der Tau liegt, oder bei Regenwetter wird man auf einem Grasplatze vergeblich die weißen, zum Ausfliegen bereiten Samenköpfchen des Löwenzahns, die „Lichter“, wie sie im Volksmunde vielfach genannt werden, suchen. Findet man eine Löwenzahn-pflanze, so sind alle verblühten Köpfchen geschlossen; die langen Blätter des Hüllkelches legen sich aufwärts eng an die zusammengedrückten Haarkronen an, und dem uneingeweihten Beobachter scheint es, als ob noch eine lange Zeit vergehen müßte, bis aus den verhältnismäßig kleinen und dünnen, geschlossenen Köpfchen die

großen kugeligen „Lichter“ entstehen könnten. Aber kaum hat die Sonne den Tau aufgetrocknet und ein frischer Windstoß die letzten Spuren von Feuchtigkeit aufgesogen, so schlagen sich die Blätter des Hüllkelches zurück, die zusammengeklappten Haare des Schopfes weichen auseinander und die charakteristischen, auf dem Wiesengrün leuchtenden, weißen Köpfchen sind da. Kommt dann kein Windhauch, um die wie an kleinen Fallschirmen hängenden Samen fortzuführen, so schließen sich abends bei feuchter Luft die Blätter des Hüllkelches aufwärts wieder zusammen, um sich erst am nächsten Tage oder bei trockener Zeit wieder zu öffnen.

Beim Löwenzahn haften die Samen verhältnismäßig fest an dem Flugapparat, obwohl beide auch ziemlich leicht zu trennen sind. Bei andern Korbblütlern dagegen, besonders bei den meisten unserer einheimischen Distelarten, ist die Verbindung zwischen beiden eine so lockere, daß oft schon ein Anstoßen des fliegenden Samenkorns eine Trennung desselben von dem Flugapparat bewirkt. Auch diese Einrichtung ist für die Pflanzen von Vorteil. Da es sich bei den hier in Frage kommenden Arten ausschließlich um Landpflanzen handelt, so können die Samen auch nur zur Entwicklung kommen, wenn sie wieder auf festen Boden und nicht in Wasser gelangen. Stößt ein solches fliegendes Samenkorn irgendwo an einen Zweig, einen Zaun, eine Mauer an und fällt, indem es sich von seinem Flugapparat löst, zu Boden, so ist es im allgemeinen auch sicher, nicht ins Wasser zu fallen. Während es über kleinere und selbst oft größere Gewässer, ohne Widerstand zu finden, von der Luft fortgetragen wird, stellt sich ihm auf festem Land über kurz oder lang doch irgendwo ein solcher Widerstand entgegen.

Nicht bei allen Früchten von Korbblütlern, die mit einem Flugapparat ausgerüstet sind, ist dieser so gut organisiert, wie beim Löwenzahn; so steht am Scheitel der Kornblumenfrüchte nur ein einfacher Borstenkranz, der im Verhältnis zur Schwere des Samenkornes zu unbedeutend ist, um für die Verbreitung durch den Wind von großem Nutzen zu sein. Es kann als eine Zwischenform von Einrichtungen für Transport durch Wind und solche durch Tiere angesehen werden, da er bei starkem Wind wohl noch eine Fortbewegung der Frucht ermöglicht, andererseits aber auch geeignet ist, sich an Tiere anzuhängen und so eine Verbreitung des Samens zu bewirken. Andere Korbblütler, wie die Sonnenrosen, besitzen überhaupt keine Flugapparate an ihren Samen.

Man unterscheidet noch weiter zwischen haarförmigen und federigen Flugapparaten; bei den ersteren ist der ganze Haarschopf von ungefähr gleichgestalteten und nicht verzweigten Haaren oder Borsten gebildet, wie bei *Taraxacum*. Ähnliche fallschirmartige Haarschöpfe sind noch weit verbreitet; bei andern, z. B. bei den *Senecio*arten sitzt der ungestielte Haarschopf direkt der Achäne auf. Bei den federigen Flugapparaten sind ein oder mehrere Haare vorhanden, die wie eine Feder zwei- oder mehrseitig reich mit kleineren Haaren besetzt sind.

So sind z. B. die Flugapparate verschiedener *Baldrian*arten ganz ähnlich wie bei *Senecio* gestaltet, aber die einzelnen, mehr in einem Kreis angeordneten Haare sind federig, mit kleinen Härchen besetzt und weniger zahlreich. Bei *Cir-*

sium ist der Haarschopf nur durch einen sehr kurzen Stiel mit der Achäne verbunden und trägt ebenfalls Federhaare. Bei der in unseren Wäldern stellenweise, namentlich auf Kalkboden verbreiteten Waldrebe (*Clematis*) der Liane unserer Auenwälder zeigen die Früchte am Scheitel eine einzige, sehr lange Feder, die den Fruchtständen im Herbst das ganz eigenartige Aussehen verleiht. Merkwürdig ist es, daß diese mit so ausgezeichneten Flugapparaten versehenen Samen oft den ganzen Winter über haften bleiben, und daß oft erst im Frühjahr ein Ausfall erfolgt, während die Tragkraft der Flugapparate zu dieser Zeit bereits erheb-

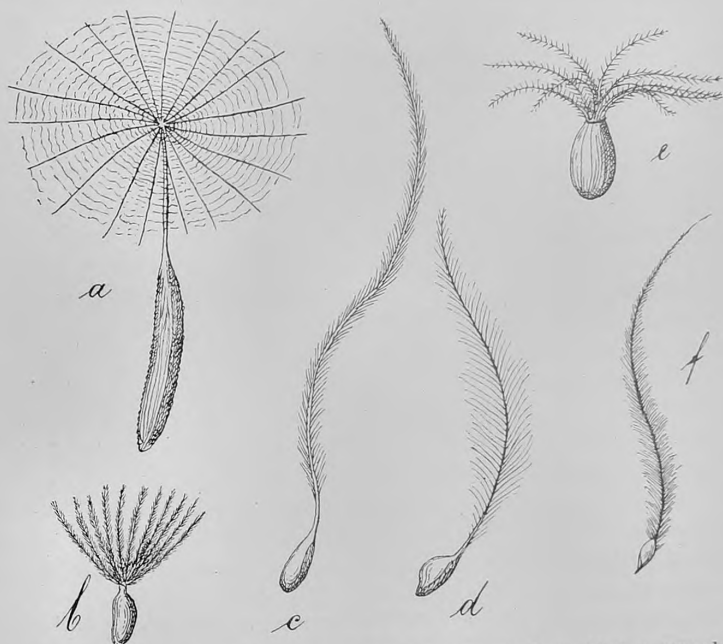


Fig. 64. Früchte mit Flugapparaten a von *Tragopogon pratensis*, b von *Cirsium nemorale*, c von *Clematis Vitalba*, d von *Atragene alpina*, e von *Valeriana officinalis*, f von *Geum montanum*

lich durch die Unbilden der Witterung beeinträchtigt ist. Aber vielleicht ist das nicht immer der Fall, und es spielen da lokale Eigentümlichkeiten, vielleicht klimatische Verhältnisse mit. So ist um Eisenach die Waldrebe sehr verbreitet und behält oft bis in den Vorfrühling hinein die wolligen Früchte, während sie in den Auenwäldern des Oberrheins, wo sie oft ein sehr lästiges, die freie Passage durch den Wald stellenweise fast völlig hinderndes Waldunkraut ist, im Herbst fast regelmäßig ihre Samen verliert.

Manche Pflanzen bilden um die eigentlichen Samenkerne eine mächtige Hülle von feinen Haaren, die beim Aufspringen der Früchte hervorquellen, sich ausbreiten und als Flugapparate dienen. Unter unsern heimischen Pflanzen zeigt sich dies besonders bei Pappeln und Weiden. Betrachtet man ein Samenkorn der

Zitterpappel, so zeigt sich ein vom Grunde des Samens ausgehender, dichter, aufwärts rings um den Samen sich ausbreitender trichterförmiger Haarschopf, der das eingehüllte Samenkorn in ähnlicher Weise nach unten gerichtet im Schweben erhält, wie dies bei den kleinen fallschirmartigen Früchten von *Taraxacum* der Fall ist. Bei andern Pappelarten werden diese Haartrichter noch viel größer, so besonders bei der Balsampappel. Öffnen sich die zweiklappigen Kapseln, so quillt ein Gewirr feiner Samenhaare heraus, daß man unwillkürlich an die Kapseln der Baumwolle erinnert wird. Ganz ähnlich sind die Verhältnisse bei den Weiden, und der Weidensamen zeigt dieselbe Flugausrüstung. Meist wird man aber nicht

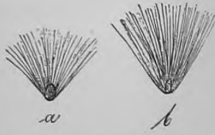


Fig. 65. a Samenkorn der Zitterpappel, b der Salweide mit Haarschopf

einzelne Samenkörner fliegen sehen, sondern Gruppen, die sich mit ihren Flugapparaten verfangen haben. An manchen Tagen können in Gegenden, wo viele Weiden und Pappeln stehen, solche Massen von Samen ausfliegen, daß die ganze Luft davon belebt erscheint und sich überall an Mauern, am Waldrande ganze

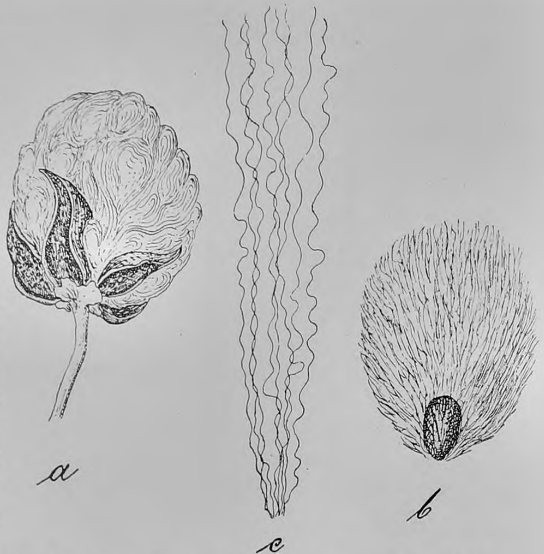


Fig. 66. Baumwolle (*Gossypium*). a aufspringende Kapsel, b Samenkorn von Samenhaaren umgeben, c einzelne, etwas vergrößerte Samenhaare

Klumpen der weißbehaarten Samen ansammeln. Mitunter können die Weiden- oder Pappelsamen sogar recht lästig werden; sie hängen sich oft gern an raue Kleiderstoffe an, und wenn man gerade in die Flugrichtung gelangt, so kann man bald über und über mit solchem weißen, gespinstartigen Samenhaar überzogen sein.

Am reichsten entwickelt sind die Samenhaare an den Samenkörnern der Baumwollarten (*Gossypium*). Wenn die Kapseln aufspringen, so drängt sich aus ihnen eine dichte, watteartige Masse hervor, von der man es kaum für möglich hält, daß sie vollständig in der Kapsel Platz gehabt hat (Fig. 66). Zupft man eine Spur davon heraus, so bleibt einem ein Haarklumpchen in der Hand, das in der Mitte etwas Hartes, das eigentliche Samenkorn enthält, welches aber unter dem Gewirr von Haaren nur undeutlich erkennbar ist. Die Haare selbst gehen

von der ganzen Oberfläche des Samenkorns aus, zeigen bei schwacher Vergrößerung meist einen zierlich geschlängelten Verlauf und sind unverzweigt, einzellig. Bei stärkerer Vergrößerung erkennt man ferner noch, daß sie schmal, bandförmig, an beiden Rändern etwas verdickt sind. Sie bestehen aus fast reiner Zellulose und sind verhältnismäßig fest. Deshalb sind sie auch für die Verwertung zum Verspinnen geeignet und liefern das Rohmaterial der Baumwolle. Die Samenhaare der meisten anderen Pflanzen sind zu weich und wenig widerstandsfähig, so daß sie keine technische Verwendung weiter finden.

Die langen Haare sitzen bei einigen Arten sehr fest am Samen (*Gossypium herbaceum*, *arborescens*) und diese letzteren sind noch mit einem dichten Filz aus kurzen Haaren umgeben. Bei *Gossypium barbadense*, der in Amerika heimischen Art, fehlt dieser kurze Haarfilz, und die Samenhaare sind leicht vom Samen abzulösen, was bei der Trennung von Samen und Haaren bei der Verarbeitung von Bedeutung ist.

Merkwürdig verschieden sind bei Früchten die Organe, welche die Haarbildung veranlassen. So entwickelt sich das lange federartige Haar bei der schon erwähnten *Clematis Vitalba* aus dem Griffel nach dem Verblühen; auch noch bei einigen andern *Ranunculaceen* ist dies der Fall, so bei den Arten der Gattung *Pulsatilla*, deren Blüten zuletzt bei der Fruchtreife durch die zahlreichen zarten Haarfedern überaus zierlich aussehen. Dasselbe findet bei einigen *Rosaceen*, z. B. bei *Geum montanum*, *Dryas octopetala* statt. Selten bilden sich die Blumenblätter zu solchen Flugapparaten um, so bei einer *Myrtacee*, *Verticordia oculata*. Am häufigsten entstehen die haarförmigen Flugapparate aus dem Kelch, so bei den schon erwähnten *Korbblütlern*, bei vielen *Valerianaceen*. Beim Wollgras stehen die Haare unter der Blüte und bei *Typha* gar an dem verlängerten Fruchtsiel. Auch an Deckblättern, wozu ja auch die Spelzen der Gräser gehören, sind Haarbildungen nicht selten und dienen mitsamt den Spelzen als Flugapparate. Bei dem bekannten Federgras, *Stipa pennata*, ist die sehr lange Granne dicht federig behaart.

IV. KAPITEL

Verbreitung von Samen und Sporen durch Wasser

Der Hauptsache nach werden Pflanzen, die im Wasser selbst oder am Ufer von Gewässern wachsen, eine Verbreitung der Samen oder Sporen durch Wasser erfahren. Als typische Wasserpflanzen kommen zunächst die Algen in Betracht, bei denen sich jedoch nicht auffallende Vorrichtungen zur Verbreitung unbeweglicher Sporen finden. Diese sinken vielmehr immer ziemlich rasch unter, nachdem sie von der Mutterpflanze sich losgelöst haben, so daß in diesem Zustand eine Verbreitung anscheinend weniger in Frage kommt.

Bei den höheren Pflanzen, besonders bei den eigentlichen Wasserpflanzen, sind aber vielfach solche Einrichtungen vorhanden, die für einen Transport durch

das Wasser sich günstig zeigen. Der Samen zeigt hauptsächlich bald nach dem Ausfallen ein geringeres spezifisches Gewicht als das Wasser, ist also schwimmfähig und behält diese Schwimmfähigkeit so lange, daß er inzwischen mit Wasserströmungen oder vom Winde getrieben weite Reisen machen kann. So ist beispielsweise die außerordentliche Verbreitung der Kokospalme auf den unzähligen Inseln des Stillen Ozeans hauptsächlich nur darauf zurückzuführen, daß die Kokosnuß während einer langen Zeit im Seewasser ihre Keimfähigkeit bewahrt und schwimmfähig bleibt. Sie wird, wenn sie ins Meerwasser gelangt, von den Meeresströmungen oft Hunderte von Meilen fortgeführt und irgendwo an einer Insel an den Strand gespült, wo sie keimt und sich zu einer neuen Palme entwickelt. Deshalb findet man Kokospalmen auch so gern in der Nähe des Strandes. Die reifen, herabfallenden Früchte rollen bis in das Meer oder werden von hochgehenden Wogen bei Stürmen vom Lande mit fortgerissen, um an einem andern Strande wieder abgesetzt zu werden.

Ebenso wie die Kokospalme sind sehr viele Pflanzenarten unter den Bewohnern der Südseeinseln auf Verbreitung durch Meeresströmungen angewiesen. Die Challengerexpedition, die dieser Frage eine besondere Aufmerksamkeit widmete, konnte 97 verschiedene, auf die Verbreitung durch Meeresströmungen angewiesene „Treibfrüchte“ nachweisen. Meist gehören sie den Palmen und Leguminosen an, aber die Dauer ihres Widerstandes gegen die Einwirkung des Seewassers ist verschieden, und manche büßen während ihrer Seereise die Keimfähigkeit ein. Die „Sechellenuß“, die Frucht einer Palme, *Lodoicea Sechellarum*, die bis 25 Pfund schwer werden kann und durch Meeresströmungen von den Sechellen bis nach Vorderindien und den südlich davon gelagerten Inseln getrieben wird, hat ihre Keimfähigkeit während dieser Reise eingebüßt; sie ist zwar auch für den Transport durch das Wasser eingerichtet, vermag aber doch nur einen für kürzere Strecken ausreichenden Widerstand den Schädigungen durch das Meerwasser entgegenzusetzen.

In den stehenden Binnengewässern sind solche gewaltige Strömungen, wie sie das Meer zeigt, freilich nicht vorhanden, und eine Frucht von dem Gewicht einer Kokosnuß würde nicht sehr weit wandern. Hier müssen Früchte oder Samen leicht sein, um durch Bewegung des Wassers, die der Wind an der Oberfläche erzeugt, fortgeführt zu werden. Eine sehr passende Einrichtung hierzu besitzt die gelbe Seerose (*Nuphar luteum*), deren Samen allerdings spezifisch schwerer als das Wasser sind und in diesem gleich untersinken würden, wenn sie direkt aus der Frucht ausfallen würden. Das geschieht aber nicht; zunächst löst sich die ganze Frucht ab und wird schon vom Wasser fortgetrieben, dann fällt auch noch die derbe und schwere äußere Fruchtwand ab, und der ganze Innenkörper spaltet sich in eine Anzahl verschleimender Teilstücke, welche auf dem Wasser schwimmen und allmählich auseinandergetrieben werden. In diesen verschleimenden, mit Luftblasen erfüllten Teilstücken sind die Samen enthalten; sie werden zunächst noch durch die feste Beschaffenheit des Fruchtfleisches gehalten, schließlich wird dieses aber so dünnschleimig, daß die Körner ausfallen und untersinken. Während dieser Zeit kann aber bereits eine weite Strecke zurückgelegt sein, und

die Samenkörner einer einzigen Frucht haben sich vielleicht über ein großes Gebiet zerstreut.

Bei der verwandten weißen Seerose ist die Schwimmrichtung völlig verschieden. Die Samen besitzen hier einen als lockere Hülle das ganze Korn umschließenden Samenmantel, der lufthaltig ist und so die Schwimmfähigkeit des Samenkornes ermöglicht. Erst nach längerer Zeit, während welcher für die Samen reichlich Gelegenheit zum Umhertreiben vorhanden war, verschwindet der Samenmantel, und das Samenkorn sinkt zu Boden.

Die Schwimmfähigkeit des Samens wird vielfach dadurch erhöht, daß er unbenetzbar für Wasser ist. Solche Samen schwimmen auf dem Wasser, auch wenn sie spezifisch schwerer sind, aus demselben Grunde, wie eine eingefettete und vorsichtig auf das Wasser gelegte Nähnadel schwimmt. Aber auch geflügelte und für den Transport durch Wind eingerichtete Samen sind häufig zum Schwimmen geeignet. So besitzen die breit und oft kraus geflügelten Samen der Sauerampferarten (*Rumex*), die gern in der Nähe von Gewässern wachsen, eine bedeutende Schwimmfähigkeit und werden vom Winde auf der Wasseroberfläche oft bis an das andere Ufer von Teichen oder Seen getrieben, wo sie unter Umständen eine Neubesiedelung herbeiführen können.

Schwimmfähige Samen werden regelmäßig und in größtem Umfange durch Flüsse und Bäche verbreitet, und deshalb findet man, wo sich im Oberlaufe erst einmal eine Pflanze angesiedelt hat, sehr oft, wenn sich die Samen nur einigermaßen für den Transport durch Wasser eignen, die Pflanze auch bald im Unterlauf, oft in ziemlich ununterbrochener Folge vom Ausgangspunkt der Ansiedelung an. So ist ein schönes Beispiel die gelbe Gauklerblume (*Mimulus luteus*), die aus Südamerika stammt und in verschiedenen deutschen Mittelgebirgen, aus der Gefangenschaft in Gärten entflohen, sich weit entlang den Gebirgsbächen ausgebreitet hat, so im Schwarzwald in der Gegend um Offenburg, um Gengenbach, im Thüringer Wald an der Hörsel und am Erbstrom von Ruhla an bis in das Werratal. Das gleiche kann von der aus Nordamerika stammenden *Oenothera muricata* (z. T. auch *Oe. biennis*), gesagt werden, wenn auch hier die Verbreitung in verschiedener Weise erfolgt. Sie ist aber ebenfalls besonders gern an Flußufern angesiedelt, und wo sie erst einmal von einem Fluß oder Bach Besitz genommen hat, breitet sie sich abwärts sehr rasch aus. Im Rheintal ist sie wenigstens auf der badischen Seite jetzt überall anzutreffen, wo geeignete Stellen zur Ansiedlung vorhanden sind; allerdings dringt sie von hier auch weiter in das Innere des Landes ein, da ihr noch andere Verbreitungsmittel zu Gebote stehen.

Ebenso wie für Wasserpflanzen oder Uferpflanzen die Flüsse und Bäche eine wichtige Rolle als Verbreiter der Samen spielen, tut dies beim Samen mancher Landpflanzen ein starker Regenguß. Platzregen z. B. können leichte Samen auf sehr weite Strecken fortzuschwemmen, und es gibt einige Pflanzen, die geradezu dafür eingerichtet zu sein scheinen. Bei dem Ackerehrenpreis, *Veronica arvensis*, öffnen sich die Früchte erst bei Regenwetter und entlassen die Samen, die dann bei ihrer Kleinheit und Leichtigkeit weit fortgeschwemmt werden können. Auch Überschwemmungen tragen nicht selten Samen auf weite Entfernungen und oft

an Stellen, an die sie sonst nicht gelangen würden. Mancher abseits gelegene Wassertümpel verdankt seine Flora einer solchen Überschwemmung, durch die Samen von dem vielleicht weit entfernten Ufer eines Flusses hineingetragen werden.

V. KAPITEL

Verbreitung klebriger oder schleimiger Samen durch Tiere

Tiere spielen bei der Verbreitung der Samen überhaupt eine große Rolle. Die Pflanze, die nicht selbst aktiv ihren Standort verlassen kann, benützt dieses, den meisten Tieren zukommende Vermögen, um sich durch Tiere verbreiten zu lassen,

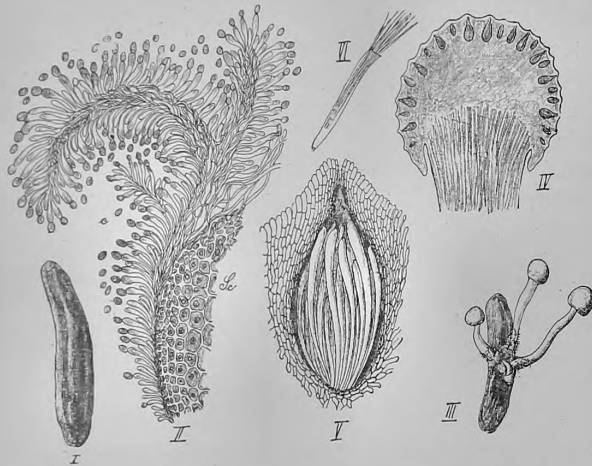


Fig. 67. *Claviceps purpurea*, Mutterkornpilz. I Mutterkorn, der Sklerotienzustand, II Dünner Schnitt durch einen jungen Roggenfruchtknoten, der von dem Pilz befallen ist. Links bei c schnürt er die Konidien ab, rechts entstehendes Sklerotiumgewebe bei Sc. III Bildung der Fruchtkörper aus dem Sklerotium im Frühjahr. IV Köpfchen eines Fruchtkörpers halbiert, mit den eingesenkten Peritheciën. V Perithecium mit den Asci. VI Ascus mit austretenden Sporen

und besitzt hierfür an ihren Samen mancherlei Einrichtungen, die den Transport durch Tiere begünstigen. Aber auch manche Tiere eignen sich besonders für den Transport der Samen. So zeigen viele Insekten unzählige Haare oder Borsten an ihrem Körper, zwischen denen sich kleine Sporen oder sonstige für die Fortpflanzung bestimmte Organe festklemmen können, ohne daß sie selbst irgendwelche besondere Einrichtungen für ihre Verbreitung durch Insekten besäßen, ihre Kleinheit vielleicht ausgenommen. Ebenso ist das Haarkleid der Säugetiere, das Federkleid der Vögel sehr wohl geeignet, zwischen den einzelnen Haaren oder Federn Samen und Sporen aufzunehmen und fortzutragen, auch wenn diese letzteren keine ausgesprochene Anpassung an diese Verbreitungsform besitzen. Anderer-

seits aber zeigt sich schon frühzeitig im Pflanzenreich die Ausbildung besonderer Einrichtungen, die einen Transport der für die Vermehrung und Verbreitung bestimmten Organe durch Tiere begünstigen, und zu diesen gehört in erster Linie eine klebrige Beschaffenheit des Samens oder der Spore.

Wir finden solche Einrichtungen schon bei den Pilzen. Der Pilz des Mutterkornes, *Claviceps purpurea*, bildet beispielsweise solche klebrige als Fortpflanzungszellen dienende Konidien. Aus dem bekannten, hauptsächlich am Roggen weitverbreiteten „Mutterkorn“, dem schwarzvioletten Sklerotium des Pilzes, geht im Frühjahr die Askosporenfruchtform hervor; die Askosporen gelangen durch den Wind vertrieben in die Roggenblüte und wachsen hier zu einem Fadengewirr, dem Myzel, aus, welches den jungen Fruchtknoten durchwuchert und ihn schließlich ganz vernichtet. Aus diesem Pilzmyzel entsteht die sog. Sphaceliageneration; es entwickelt sich eine unangenehm riechende, klebrige, süßliche Flüssigkeit, der Honigtau der Roggenblüte, welche viele Insekten anlockt. Gleichzeitig schnürt das Myzel eine ungeheure Menge von Konidien ab, kleine einzellige Sporen, die massenhaft in dem süßen Saft enthalten sind. Die Insekten, welche an dem Honigtau naschen, beladen sich mit den klebrigen Sporen und tragen sie zu andern Roggenähren, wo die Konidien schon nach wenig Stunden keimen und von neuem eine Infektion der Fruchtknoten veranlassen. Sehr bald schnüren die hier entwickelten Pilzmyzelien wieder Konidien ab, und so verbreitet sich der Pilz während der Blütezeit rasch weiter.

Die Verbreitung des Mutterkornpilzes kann aber nur solange stattfinden, als noch aufblühende Roggenblüten vorhanden sind, ist die Blüte vorüber, so hört auch die Verbreitung des Pilzes auf, da die keimende Konidie nur die noch jungen zarten Fruchtknoten zu infizieren vermag, nicht mehr ältere, bereits fester und derbwandiger gewordene. Je ungleichmäßiger daher der Roggen zum Blühen kommt, und je länger die Blütezeit andauert, desto größer ist die Ausbreitung des Pilzes. Die Sphaceliaform hört übrigens nach einiger Zeit auf, Konidien abzugliedern und die süße Flüssigkeit auszuschcheiden; sie wandelt sich durch enge Verflechtung

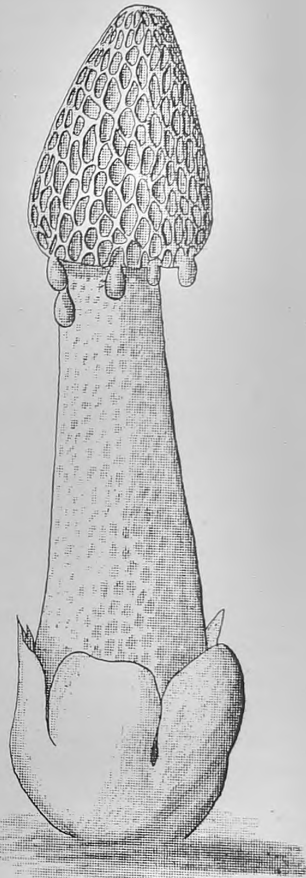


Fig. 68. Stinkmorchel, *Phallus impudicus*, natürliche Größe

und Verwachsung der allmählich derbwandig werdenden Zellen in ein reich mit Reservestoffen gefülltes Dauergewebe um, welches die ungefähre vergrößerte Form eines Roggenkornes annimmt, sich schwarzviolett färbt und zu dem unter den Namen Mutterkorn bekannten, überwinternden Sklerotium wird.

Auch bei der Stinkmorchel, *Phallus impudicus*, findet eine Verbreitung der Sporen durch Insekten statt. Der Pilz besitzt mancherlei merkwürdige Erscheinungen in seiner Entwicklung; sein Fruchtkörper tritt anfangs in der Gestalt eines rundlichen geschlossenen Eies auf, welches in der Größe etwa einem kleinen Hühnerei nahekommmt. Später durchbricht der eigentliche Fruchtkörper die äußere weiße, etwas lederartige Hülle und trägt auf weißem Stiel einen eng anliegenden, an den Hut einer Morchel erinnernden Kopf mit wabigen Vertiefungen. Aus diesen Waben tropft eine grünlichschwarze, klebrige Flüssigkeit herab, in der Millionen von Sporen enthalten sind; sie besitzt einen im höchsten Grade widerwärtigen Aasgeruch und lockt unzählige Aasinsekten an, die in der Flüssigkeit herumwühlen und sich dabei über und über mit den Sporen beladen. Übrigens verlassen viele Aasinsekten, z. B. der gewöhnliche Totengräber, sehr bald wieder den Pilz, sie scheinen sich doch nach einiger Zeit davon zu überzeugen, daß da eigentlich nicht das richtige Feld ihrer Tätigkeit ist, aber sie haben sich inzwischen mit Sporen beladen und tragen sie fort, um sie anderswo abzusetzen und so zur Verbreitung des Pilzes wesentlich beizutragen. Deshalb ist der Pilz in Gegenden, wo er überhaupt vorkommt, gewöhnlich auch sehr verbreitet, und er kann den Aufenthalt an einzelnen Stellen während seiner Fruchtzeit — Juni bis September — für empfindliche Nasen fast zur Unmöglichkeit machen. Der entsetzliche Aas- oder Leichengeruch, den diese Pilze verbreiten, die oft ungesehen zwischen hohem Gras oder anderen Pflanzen stehen, hat denn auch zu mancherlei Sagen (z. B. vom Leichenfinger), Veranlassung gegeben, zumal er sich auch gern auf Kirchhöfen einfindet.

Klebrige Früchte oder Samen höherer Pflanzen sind ebenfalls ziemlich verbreitet. Die schon erwähnten Samen unserer Seerosen sind von einem klebrigen Schleim umgeben, welcher an dem Gefieder der Wasservögel, Enten und Wasserrühner leicht anhaftet und von ihnen verschleppt wird. Besonders die Verbreitung von einem Gewässer zum andern wird durch solche Wasservögel erfolgen, während die Besiedlung eines Gewässers durch die Schwimmfähigkeit des Samens von dem Wasser allein besorgt werden kann.

Auch die Mistel, jene auf unsern Bäumen schmarotzende grüne Pflanze mit ihren weißen Beerenfrüchten besitzt einen überaus klebrigen Schleim, der die Samenkörner fest umhüllt. Der Schleim ist so klebrig und fest, daß aus ihm früher der beste Vogelleim hergestellt wurde. Eine zerrissene Beere haftet überaus fest am Gefieder von Vögeln und wird von diesen nur beim Durchschlüpfen zwischen Ästen an Bäumen abgestreift; hier können die Beeren aber wieder festkleben, und dadurch gelangen sie wieder auf ihren natürlichen Standort. Würde der Schleim eine geringe Klebkraft besitzen, so würden Beeren oder einzelne Samenkörner leicht abfallen und auf die Erde gelangen, wo sie zugrunde gehen müßten.

Von unseren heimischen Pflanzen ist es besonders noch die Herbstzeitlose (*Colchicum autumnale*) und die Zaunrübe, welche durch klebrige Samen verbreitet werden. Die erstere besitzt Samen mit einer eigentümlichen fleischigen Warze, die bei Regen oder selbst bei Tau sehr klebrig wird und dann leicht am Fuß oder am Haarkleid kleiner Säuger anhaftet. Im Odenwald ist es mir im Frühjahr auf einer an einen Bach stoßenden mit Zeitlosen überreichlich gesegneten Wiese sehr häufig passiert, daß beim Forellenangeln die Wasserstiefel dicht mit den Samen der Herbstzeitlose überzogen waren. Auch zeigte ein im Mai auf der-

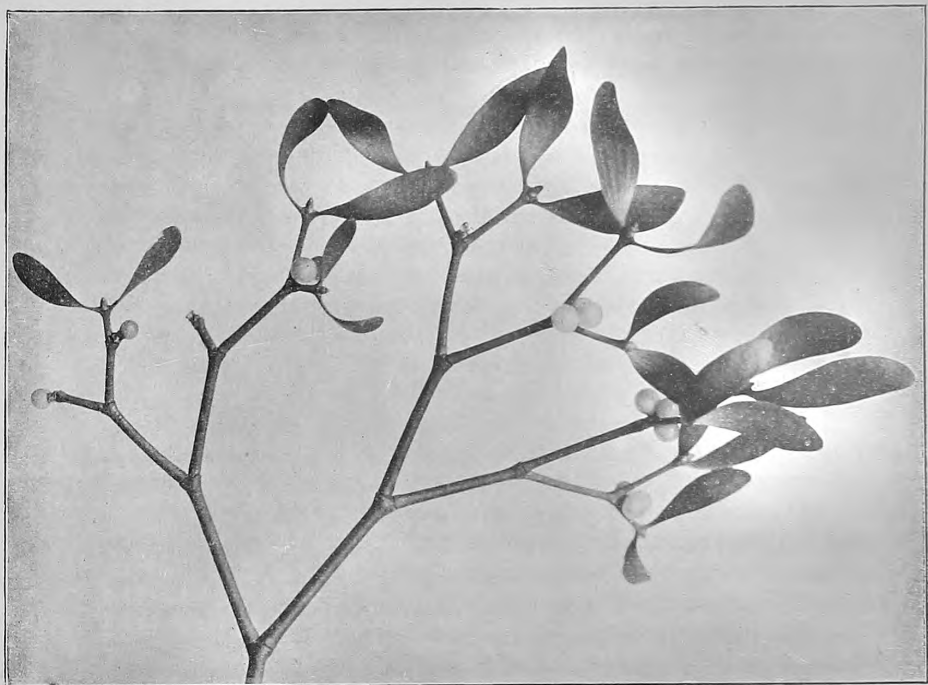


Fig. 69. Mistelzweig mit reifen Beeren, etwas verkleinert

selben Wiese geschossener Rehbock sich weit hinauf mit vereinzelt Samen-körnern der Zeitlose bedeckt. Im allgemeinen werden die Samen der Zeitlose mehr am Grunde der Füße haften, da die Kapseln der Zeitlose nicht weit über die Erde hervorragen; sie werden dann auch meist bald wieder durch das zur Zeit der Fruchtreife der Zeitlose schon sehr hohe Wiesengras abgestreift werden, also im allgemeinen nicht eine Verbreitung über große Strecken finden. Rehe aber pflegen sich gern in den frühen Morgenstunden in dem Grase niederzutun und beladen sich dann oft selbst auf dem Rücken mit den durch den Tau noch klebrigen Samen der Zeitlose und tragen sie, wenn sie mit steigender Sonne den Wald wieder aufsuchen, weit fort, bis sie abfallen oder abgerissen werden.

Die Zaunrüben, von denen zwei Arten, *Bryonia alba* und *dioica*, in Deutschland an Hecken, Zäunen und Büschen vorkommen, tragen saftige Beeren, die leicht bei Druck platzen und dabei auf die diesen Druck ausübenden vorüberziehenden Tiere den Inhalt der Beeren übertragen. Dabei bleiben die allerdings nur wenig klebrigen Samen an den Haaren hängen und werden verschleppt. Auch naß gewordene Samen haften, ohne gerade klebrig zu sein, leicht am Gefieder oder Haarkleid von Tieren an und werden dann eine Strecke weit verschleppt, bis sie trocken werden und wieder abfallen. Bei vielen Korbblütlern und Lippenblütlern kommen aber Samen vor, die bei Regen klebrig werden; Kerner berichtet von einem Steinkauz, der beim Anstreifen an ein Wermutgestrüpp sich über und über mit den durch einen Regen klebrig gewordenen Früchten dieser Pflanze bedeckt hatte.

Von den Sumpfpflanzen sei hier noch das Schlangenkraut, *Calla palustris*, erwähnt, dessen rote, mehrsamige, in einem traubigen Stand gehäufte Beeren zur Zeit der Überreife zerfallen und einen schleimigen Inhalt um die Samenkörner besitzen; diese werden ähnlich wie die Samen der Wasserrosen durch kleinere Wasservögel, besonders durch Teichhühnchen und verschiedene Sumpfvögel, an deren Gefieder sie festhaften, verbreitet, selbst auf der schlüpfrigen Haut der Frösche haften sie eine kurze Zeit und werden von diesen eine Strecke weit mitgenommen.

VI. KAPITEL

Verbreitung der Samen fleischiger Früchte durch Tiere

Das Fruchtfleisch zahlreicher Beeren oder anderer fleischiger Früchte bildet für viele Tiere einen wesentlichen Teil der Nahrung, und dafür, daß ihnen die Pflanzen Nahrung geben, übernehmen die Tiere die Verbreitung des Samens. Hauptsächlich sind es Vögel, aber auch viele Säugetiere, welche Beeren und fleischige Früchte verzehren, die im Fruchtfleisch enthaltenen Samen aber wieder unversehrt von sich geben.

Eine Menge Beeren, vor allen Dingen Weintrauben, werden auch von vielen Säugetieren verzehrt; so stellt der Marder mit einer wahren Leidenschaft den Weintrauben nach. Dasselbe gilt vom Iltis, und daß auch der Fuchs ein großer Verehrer der Weintrauben ist, dafür ist schon das bekannte Sprichwort von den sauren Trauben ein Beleg. Die Kerne findet man oft in enormen Mengen in den Exkrementen, und sie haben ihre Keimkraft durchaus nicht eingebüßt. Ebenso werden die Walderdbeeren von vielen Vierfüßlern vertilgt, auch die Heidelbeeren; beide werden sehr gern vom Rehwild genommen, und auch der Dachs nimmt sie in beträchtlichen Quantitäten zu sich. Durch Blaubeeren ist die Losung der letzteren oft ganz schwarz gefärbt und mit den Samenkörnern völlig durchsetzt. Auch hier passieren die Samen den Darmkanal wenigstens teilweise ohne Schädigung der Keimkraft und werden so an oft weit entfernten Stellen und gewöhnlich gleich in größerer Menge abgesetzt, so daß, auch wenn eine Anzahl der Körner

beim Kauen oder bei der Verdauung beschädigt sein sollten, doch immer noch genug keimfähige übrig geblieben sind.

Die Früchte des Steinobstes, z. B. die viel verbreiteten Vogelkirschen, werden nicht nur von Vögeln, sondern ebenfalls von manchen Säugetieren verzehrt; der Fuchs nimmt herabgefallene reife Kirschen sehr gern, auch manche Hunde fressen jede Kirsche, die sie finden. Bei Pflaumen ist dies zwar auch der Fall, die Kerne werden dagegen bei uns von den Tieren meist wieder ausgespien, weil die Pflaume keine bei uns heimische Pflanze ist und eine Anpassung an andere Tiergestalten besitzt. Nichtsdestoweniger wird auch sie, wenn auch nicht so weit, verbreitet, denn von der Aufnahme der Pflaume bis zum Ausspien des Kernes vergeht immerhin einige Zeit, während deren das Tier inzwischen ein ganzes Stück weitergezogen sein mag.

Im allgemeinen werden allerdings die Samen im Verdauungskanal vieler Säugetiere beschädigt, aber nicht nur sind die Samen in ihrer Widerstandskraft an sich schon sehr verschieden, es kommt auch darauf an, ob die Früchte von Pflanzenfressern oder Fleischfressern verzehrt werden. Im Darmkanal der letzteren, also z. B. bei Füchsen, Mardern und Iltissen, werden die Samen größtenteils keimfähig bleiben, während im Verdauungskanal der Wiederkäuer die meisten Samen, wenn sie nicht durch eine besonders harte Schale geschützt sind, vernichtet werden. Ich möchte aber auch annehmen, daß die Samen von manchem Kernobst, so von den in unseren Auenwäldern verbreiteten wilden Apfel- und Birnbäumen, wenigstens zum Teil den Darmkanal der Wiederkäuer unbeschädigt passieren; ihre Früchte stellen einen von Rot- und Rehwild sehr gesuchten Leckerbissen dar, und man darf wohl annehmen, daß diese mit besonders fester lederartiger Schale ausgestatteten Samenkörner, wenn sie nicht mechanisch zerkleinert werden, wenigstens vereinzelt den Darmkanal noch mit voller Keimkraft passieren. Denn Wild und Pirusarten sind bei uns einheimisch und aneinander angepaßt; das Wild ist der Hauptvertilger der Früchte wilder Apfel- und Birnbäume, und es ist deshalb nicht unwahrscheinlich, daß das Wild, zum mindesten in beschränktem Maße, für die Verbreitung dieser Pflanzen sorgt. Und wenn selbst von 1000 Kernen nur einer wirklich mit voller Keimkraft den Verdauungskanal verläßt, so kommt bei der ungeheuren Zahl der Früchte, die ein einziger wilder Birnbaum trägt, doch immer noch eine beträchtliche Verbreitung zustande. Besonders ist dies der Fall, wenn Rotwild beteiligt ist, weil Rotwild oft viele Kilometer weit fortzieht, ehe die Kerne den Tierkörper wieder verlassen, und damit eine Verbreitung über weite Räume stattfindet. Ebenso mag Schwarzwild bei der Verbreitung von Kernobst beteiligt sein, doch fehlen hierfür ebenfalls noch zuverlässige Anhaltspunkte.

Kerner hat Versuche mit Verfütterung zahlreicher Samen von den verschiedensten Pflanzen angestellt und dabei gefunden, daß bei Rind, Pferd und Schwein nur vereinzelt Samen keimkräftig wieder abgehen. Soweit es sich um Samen handelt, die direkt zur Ernährung dieser Tiere dienen, ist das ja auch ohne weiteres verständlich. Sobald aber Pflanzenarten in Frage kommen, deren Samen gerade auf eine Verbreitung durch Verzehren der Früchte durch Tiere angewiesen sind, wie bei den wilden Kernobstarten, scheinen mir erneute Untersuchungen, besonders

auch an den unter natürlichen Verhältnissen aufgenommenen und mit den Exkrementen wieder abgegangenen Samen notwendig.

Weit größeren Anteil als Säugetiere nehmen die Vögel an der Verbreitung der Samen von fleischigen Früchten und Beeren aller Art. Auch hier ist allerdings ein beträchtlicher Unterschied vorhanden, indem von einigen Vögeln auch die Samen vollständig verdaut werden, von anderen nur die weniger hartschaligen und von wieder anderen überhaupt keine oder nur vereinzelt. Die drei Gruppen, in welche Kerner die Vögel nach diesem Verhalten teilt, sind also sehr ungleich für die Verbreitung der Pflanzen tätig. In die erste Gruppe gehören Hühner, Tauben, Kreuzschnabel, Stieglitz, Zeisig, die Meisen, Tannenhäher und andere. Die kleineren von ihnen, so besonders die sperlingsartigen Vögel, die Meisen, zerstören die Keimfähigkeit des Samens gewöhnlich schon vor dem Verschlucken, indem sie die Samenschale ablösen oder zerquetschen; damit ist natürlich das Schicksal des Samens besiegelt. Sie zerkleinern sie auch oft; die Meisen sind sogar imstande, mit ihren kleinen, aber stahlharten Schnäbeln Walnüsse zu zerkleinern, sie hacken sie auf und hacken allmählich den Kern heraus. Der große Kern würde ohnehin für ihren Schnabel und Schlund ein allzu großer Bissen sein. Bei den Hühnern geschieht die Vernichtung der Samen aber in anderer Weise; sie nehmen kleinere Samen meist unverletzt auf, aber diese kommen in einen sehr harten muskulösen Magen, welcher kleine Steinchen enthält, und durch die starken Reibungen der Samen an den Steinchen werden die ersteren schließlich zerquetscht und zerrieben. Es sind dies sämtlich Vögel, die den Samen direkt als Nahrung aufnehmen und natürlich vernichten müssen, um einen Vorteil davon zu haben.

Zur zweiten Gruppe rechnet Kerner Raben und Dohlen, bei denen nur die hartschaligen Kerne fleischiger Früchte, z. B. der Kirschen, den Darmkanal ohne Schädigung der Keimkraft verlassen, während die weichschaligen verdaut werden. Bei ihnen dient nur ein Teil der Samen als Nahrung, bei den Kirschen ist es nicht der Samen, sondern das Fruchtfleisch, welches sie brauchen.

Die dritte, umfangreichste, und für die Verbreitung der Samen aus fleischigen Früchten wichtigste Gruppe der Vögel umfaßt die Drosselarten, Rotkehlchen und ähnliche Arten, die hauptsächlich Insektenfresser sind. Bei ihnen passieren die weitaus meisten Samen ungeschädigt den Darmkanal, und es finden hier analoge Verhältnisse statt, wie bei den oben erwähnten Fleischfressern unter den Säugetieren. Ihre Verdauung ist eine ungemein rasche, und es bleibt keine Zeit dafür, die mehr oder weniger harten Samenschalen zu lösen. Bei Rotkehlchen, die man im Zimmer hält, und denen man im Herbst die reifen Beeren des schwarzen Hollunders vorsetzt, macht sich die Wirkung der raschen Verdauung in auffallend rascher Weise und recht unliebsam wegen der violetten, tintenartigen Flecke, die die Exkremente bilden, bemerkbar. Dazu kommt allerdings eine offenbar stark abführende Wirkung, welche die Holunderbeeren auf die Rotkehlchen ausüben, oft schon eine halbe Stunde nach dem Genuß färben sich die Exkremente schwarz violett, und man kann in ihnen die Holunderkerne finden.

Die Samen des Pfaffenhütchens (*Evonymus europaeus*), in Schlesien Käthelbeeren genannt, sind eine besonders beliebte Speise der Rotkehlchen. Aller-

dings verzehren die Rotkehlchen eigentlich nur den leuchtend roten Samenmantel, der die weißen Samen in geschlossener Hülle umgibt, die in ihm enthaltenen Samen werden wieder ausgespien. Obwohl nun die Zeit zwischen Aufnahme der Samen und Ausspeien sehr kurz ist, geschieht das letztere doch oft schon weit von dem Strauch entfernt, auf welchem das Rotkehlchen seine Nahrung zu sich genommen hatte, und damit wird auch für die Verbreitung des Pfaffenhütchens gesorgt, da die Samen mit völlig erhaltener Keimkraft aus dem Kropf hervorkommen. Das Pfaffenhütchen ist sogar so vollständig auf die Verbreitung durch das Rotkehlchen angewiesen, daß die Verbreitungsgebiete beider vollkommen übereinstimmen.

Rotkehlchen und Drosselarten sind die Hauptverbreiter unserer beerentragenden Sträucher; selbst von Giftpflanzen, wie Seidelbast (*Daphne Mezereum*), Tollkirsche (*Atropa Belladonna*), Eiben (*Taxus baccata*), werden die Beeren anscheinend ohne Schaden von vielen Drosseln gefressen. So sind die Schneeball-, Liguster-, Sauerdorn- und Wacholderbeeren eine willkommene Nahrung der im Herbst bei uns eintreffenden nordischen Drosselarten, ebenso die Ebereschen (*Sorbus Aucuparia*), die vorzugsweise als Lockmittel wegen ihrer weithin leuchtenden roten Farbe im Dohnenstrich zum Fang der Krametsvögel verwendet werden. Die Ebereschen werden bei uns zuweilen in strengen Wintern auch von seltenen hochnordischen Gästen besucht; Scharen von Seidenschwänzen fallen mit-



Fig. 70. Tollkirsche

unter auf solchen noch fruchttragenden Bäumen ein. Bei allen diesen Vögeln wird nur das Fruchtfleisch verdaut, die Samen aber unbeschädigt mit den Exkrementen entleert oder unter Umständen ausgespien, so daß sie gar nicht in den Magen gelangen, sondern nur kurze Zeit im Kropf sich aufhielten.

Bei der Tollkirsche dehnt sich die Zeit der Reife über mehrere Monate aus; man findet beispielsweise vom Juli bis in den September hinein gleichzeitig reife, unreife Beeren, Blüten und Knospen (Fig. 70). Die Zeit, während welcher eine Verschleppung der Samen durch Vögel stattfinden kann, ist also eine sehr lange, und da die Tollkirsche auch im Spätherbst reife Beeren trägt, werden im Sommer die bei uns heimischen, im Herbst die durchziehenden Vögel zu ihrer Verbreitung beitragen.

Von großer Bedeutung ist, daß die meisten dieser beerentragenden Sträucher ihre Früchte erst im Herbst und Spätherbst reifen, zu einer Zeit, wo die nordischen

Drosseln auf der Wanderung begriffen sind. Nicht nur findet sich dann eine große Schar hungriger Gäste ein, die den reich gedeckten Tisch bald abräumt, sondern die Unruhe der Wanderzeit treibt die Vögel auch oft rasch nach der Mahlzeit weiter, und sie verschleppen die Samen dabei über weit größere Gebiete, als dies durch die heimischen sesshaften Vögel geschehen würde, die ihre Wanderungen nicht über ein bestimmtes engbegrenztes Gebiet ausdehnen.

Auch hierbei haben sich wieder bestimmte Anpassungen herausgebildet. Man hat einzelne Drosselarten speziell nach der Pflanze, die ihnen ihre Lieblingsnahrung liefert, bezeichnet, so Wacholderdrossel, Weindrossel, Misteldrossel. Bei der letzteren nun, die spät auf ihrem Zuge bei uns eintrifft und oft den ganzen Winter über bei uns verweilt, wenn sie Nahrung findet, kann man allerdings beobachten, daß die Mistelbeeren eine von ihr gern genommene Speise bilden, die auch gerade erst im Winter reif werden. Wo reichlich Misteln vorhanden sind, hält sich diese Drosselart im Winter lange auf und vertilgt unglaubliche Mengen der weißen, mit einem überaus klebrigen Schleim gefüllten Beeren. Die Kerne werden unbeschädigt wieder entleert, sind aber stets noch mit einer dicken Hülle des unzersetzten klebrigen Schleimes umkleidet, so daß sie sofort kleben bleiben, wenn sie mit den Abgängen der Drossel an einen Zweig anstreifen. Das ist natürlich für die Mistel überaus wichtig, denn sie kann sich bekanntlich nicht auf dem Erdboden entwickeln, sondern nur auf Bäumen oder Sträuchern.

Wenn man auch von der Mistel nur eine einzige Art bei uns kennt, so zeigt sich doch eine wesentliche Verschiedenheit der auf verschiedenen Holzarten schmarotzenden Formen; die auf der gewöhnlichen Kiefer vorkommenden Misteln sind viel schmalblättriger und haben mehr grünlichgelb gefärbte Früchte. Es zeigt sich auch insofern ein merkwürdiger Unterschied, als die Misteln in einer Gegend diese, in einer andern jene Holzart bevorzugen. Ein merkwürdiges Beispiel dafür liefern zwei Nachbarorte im Kreise Rybnik in Oberschlesien; in dem einen, Gogolau, kommt die Mistel sehr verbreitet, aber nur auf den zahlreichen Linden, in dem andern, Timmendorf, noch reichlicher, aber nur auf Pappeln vor. In Karlsruhe in Baden ist sie besonders auf Kiefern heimisch, in Wörth am Rhein, einem Karlsruhe etwa gegenüberliegenden Ort der Pfalz, ist sie auf Obstbäumen verbreitet, und kommt merkwürdigerweise auch in dem Auenwald, der zahlreiche verschiedene Holzarten birgt, nur auf den wilden Apfelbäumen vor.

Man hat versucht, diese eigentümliche Erscheinung dadurch zu erklären, daß sich die Drosseln, die bei der Verbreitung der Mistel eine Hauptrolle spielen, in jeder Gegend mit Vorliebe auf dieselbe Art von Bäumen niederlassen, und deshalb nur auf diesen Bäumen eine Verbreitung stattfinden könne. Diese Erklärung scheint aber doch sehr gezwungen. Es ist viel wahrscheinlicher, daß sich die Mistel in einer Gegend an eine bestimmte Baumart angepaßt hat und dann viel schwerer auf einer anderen Baumart zur Entwicklung kommt. Darauf deuten auch schon die äußeren Verschiedenheiten der auf verschiedenen Holzarten wachsenden Mistelformen hin, und wir finden ähnliches noch vielfach, z. B. bei den Knöllchenbakterien, die wohl auch zu einer oder höchstens zwei Arten gehören, sich aber in ihren verschiedenen Varietäten auch so an bestimmte Pflanzenarten angepaßt

haben, daß eine Übertragung von der einen Pflanze auf die andere nicht ohne weiteres gelingt. Das gleiche ist auch bei der Mistel der Fall; auch hier keimen die Samen einer auf Kiefern gewachsenen Pflanze nicht ohne weiteres auf Laubhölzern und umgekehrt. Daß sich auch selbst durch Anpassung an verschiedene Laubholzarten schon bestimmte Formen entwickelt haben ist zweifellos, sonst würde sich z. B. das Vorkommen der Mistel in dem Wörther Auenwald nur auf *Pirus Malus* nicht erklären lassen.

Neben den Drosseln beteiligen sich auch noch zahlreiche andere insektenfressende Vögel an der Verbreitung der Samen von Pflanzen mit beerenartigen Früchten, Pirole, selbst Spechte, Fliegenschnäpper, Grasmücken usw. Durch Vögel werden auch hauptsächlich die Waldbeeren verbreitet, und hier mögen auch Tauben und die Waldhühner, auch Rebhühner mitwirken, selbst wenn die meisten Samenkörner von ihnen beim Verdauungsprozeß vernichtet werden. Die im Walde verbreiteten Sorbusarten (Elsbeere, *Sorbus torminalis*, Mehlbeere, *S. aria* und Vogelbeere oder Eberesche, *S. aucuparia*), werden von den verschiedensten Vögeln aufgenommen, besonders auch von Birkhühnern; in kalten, strengen und namentlich schneereichen Wintern kommen die Birkhühner zuweilen an die Chausseen, die mit Ebereschen bepflanzt sind, um sich an diesen begehrten Leckerbissen gütlich zu tun, und tragen dann morgens die Samen in ihrem Verdauungskanal mit sich in den Wald. Von den vielen Tausenden der verzehrten Samen bleiben sicher wenigstens einige keimfähig und gelangen dabei an Stellen, wo vorher keine Ebereschen vorkamen.

Gerade die beerentragenden Holzgewächse, besonders Hollunder und Eberesche wachsen manchmal an Stellen, wo sie nur durch Vögel hingelangt sein können; alte Mauern, Dächer, Felsritzen zeigen oft ein buntes Gemisch beerentragender Sträucher.

VII. KAPITEL

Verbreitung nußartiger Samen und Früchte durch Tiere

Nußartige Samen sind bezüglich ihrer Verbreitung hauptsächlich auf diejenigen Tiere angewiesen, von denen sie als Nahrung verzehrt werden. Das klingt zwar etwas widersinnig, ist aber doch tatsächlich der Fall, wenn diese Verbreitung im allgemeinen auch durchaus gegen den Willen der Tiere geschieht und der Samen die Erhaltung seiner Keimfähigkeit nur einem Zufall verdankt.

Von Pflanzen mit nußartigen Samen und Früchten kommen bei uns hauptsächlich die Zirbelkiefer oder Arve (*Pinus Cembra*), die Eichen, die Rotbuche und die Haselnuß in Frage, und als Tiere, welche bei der Verbreitung eine Rolle spielen, das Eichhörnchen, Tannen- und Eichelhäher und Tauben, gelegentlich wohl auch rabenartige Vögel, und von Säugetieren Hamster und Dachs.

Einzelne dieser Tiere sind bis zu einem hohen Grade von einer bestimmten Nährpflanze abhängig, und diese Abhängigkeit spricht sich sogar im Bau des Schnabels deutlich aus. Der Tannenhäher bewohnt zwei verschiedene Verbreitungsgebiete;

das eine umfaßt das westliche Rußland mit den Ostseeprovinzen, Ostpreußen, ferner Riesengebirge, Karpathen, Alpen, bis selbst zu den Pyrenäen, das andere den Ural und Sibirien, und fällt hauptsächlich mit der sibirischen Form der Zirbelkiefer zusammen, deren Samen die Hauptnahrung der östlichen Tannenhäherform bilden. Die Zapfen der sibirischen Arve haben aber viel dünnere und zartere Schuppen als die der zentraleuropäischen; der dort wohnende Tannenhäher kommt deshalb auch mit einem viel dünneren Schnabel aus als die westliche Form. Die letztere braucht auch schon deshalb einen stärkeren Schnabel, weil in vielen Gegenden seines Vorkommens neben Eicheln, Bucheln, auch Haselnüsse, die er aufhacken muß, seine Hauptnahrung bilden. Wo aber Arven vorkommen, sind dieselben im westlichen Gebiet mit Zapfen versehen, die viel dickere und härtere Schuppen besitzen, so daß schon eine wesentlich größere Kraft erforderlich ist, um die Samen herauszuhacken. Man kann also an der Schnabelform die Heimat eines Tannenhähers erkennen. Der östliche muß nämlich von Zeit zu Zeit in Jahren, in denen die Samen der sibirischen Arve mißraten, aus Nahrungsmangel große Wanderzüge unternehmen, die ihn oft bis in den äußersten Westen Europas führen; an geschossenen Exemplaren läßt sich dann leicht feststellen, ob er zu der östlichen oder westlichen Form gehört.

Die Verbreitung dieser nußartigen Früchte erfolgt nun hauptsächlich dadurch, daß die Tiere sie häufig anderswo verzehren wollen und dabei unterwegs verlieren. Der Fall tritt sogar sehr häufig ein. Eichhörnchen und Häherarten sammeln z. B. nicht nur im Baume selbst Nüsse, Eicheln usw., sondern sie suchen sie auch namentlich im Spätjahr auf dem Boden auf. Dieser Platz behagt ihnen aber durchaus nicht zum Verzehren, sondern sie suchen sich dazu irgendeinen passenden Baum, der sogar wenigstens bei den Hähern zuweilen gar nicht in der Nähe zu sein braucht. Die glatten Eicheln und Bucheln entfallen dabei leicht einmal dem Schnabel, besonders wenn die Tiere schon ziemlich gesättigt sind und sie kein besonders großes Interesse mehr an der Frucht haben. Sicher nehmen Eichelhäher, auch wenn sie völlig satt sind, manchmal noch Eicheln von einem Baume mit fort, lassen sie aber unterwegs, weil sie ihnen zu unbequem im Fluge werden, fallen, ohne sich weiter darum zu kümmern.

Bekannt ist, daß Eichhörnchen sich Vorräte eintragen, die in Höhlungen von Bäumen, oft weit entfernt von dem Ort, wo sie gesammelt wurden, aufgestapelt werden. Oft turnen sie zu diesen Vorratskammern weite Strecken von Ast zu Ast, von Baum zu Baum, und bei besonders großen Sprüngen ist es gar keine Seltenheit, daß sie die Nuß oder Eichel verlieren. Sie suchen sie auch gewöhnlich nicht wieder, sondern kehren lieber zu dem Fruchtbaum zurück, um eine frische zu holen. Sicher werden sehr viel nußartige Früchte auf solche Weise verloren. Aber auch die Vorratskammern haben ihre Schicksale. Nicht immer sind sie besonders zweckmäßig angelegt, und da sie gewöhnlich in hohlen Ästen oder morschen Bäumen sich befinden, so wird schon so manche durch einen Sturm zerstört und ihr Inhalt auf dem Boden zerstreut worden sein, oder ein heftiger Regenguß hat die unsichere Unterlage gelockert und den Inhalt herausgeschwemmt. Manche Vorratskammern der Eichhörnchen werden auch von ihren Besitzern vergessen oder

die letzteren sind gestorben, ehe sie sich ihres Vorrates erfreuen konnten, und manche Eichel oder Nuß wird dann von Spechten aus ihrem Versteck herausbefördert, die den Insekten nachspüren, ohne sich viel um die Nüsse zu kümmern.

Die größeren Taubenarten sind besondere Liebhaber von Eicheln; aber während beispielsweise die Hohltaube noch sehr gut die kleineren Früchte verschlucken kann, will ihr das mit den größeren nicht mehr recht glücken. Sie quält sich aber trotzdem eine Zeitlang damit ab, fliegt mit der Eichel fort und versucht es an einem andern Ort, sie herunterzuwürgen. Schließlich gibt sie den Versuch auf, läßt die Eichel fallen und holt sich eine neue. Gerade die Eicheln werden sehr viel von Hohltauben verschleppt und man kann sagen, daß die kleineren Früchte zumeist dabei verzehrt werden, während die größeren, zur Erzielung kräftigerer Pflanzen geeigneten, von den Hohltauben zwar vielfach verschleppt, aber fortgeworfen werden. Die Eichel ist auch insofern noch besonders gut für die Verbreitung geeignet, als sie zur Zeit der Reife oft nur lose in dem Becher (Cupula) sitzt, und wenn sie vom Schnabel nicht gut gefaßt wird, während des Fluges oft gerade aus dem Becher herausgedrückt wird und herabfällt.

VIII. KAPITEL

Verbreitung von Samen und Früchten mit Stacheln oder Widerhaken durch Tiere

Wer im Spätsommer oder Herbst durch ein Kartoffelfeld oder einen lichten Buschwald geht, wird oft eine ganze Menge der verschiedenartigsten Samen und Früchte an seinen Kleidern mit nach Hause bringen. Langhaarige Jagdhunde sind oft ganz besät mit solchen Früchten und diese haben sich so fest zwischen die Haare gesetzt, daß es oft ziemlicher Anstrengung bedarf, um sie wieder heraus zu bekommen. Aber auch bei kurzhaarigen Tieren haften viele Früchte außerordentlich fest und fallen jedenfalls nicht ohne weiteres von selbst ab, sondern erst beim Anstreifen gegen Zweige, oder wenn sich die Tiere mit dem Fuß oder Gebiß reinigen. Alle solche Früchte und Samen werden in ausgedehntem Maße durch Tiere verbreitet, und die Zahl der Pflanzen, die solche Vorrichtungen entwickeln, ist eine außerordentlich große, vielleicht, wie Kerner annimmt, $\frac{1}{10}$ aller Blütenpflanzen überhaupt. Die Kletteeinrichtungen, wie man alle Widerhaken, Borsten, Stacheln usw. an Samen und Früchten nennen kann, sind auch in zahlreichen, sehr verschiedenen Pflanzenfamilien vertreten und in außerordentlich mannigfaltiger Weise ausgebildet.

Wenn wir zuerst unsere eigentlichen Kletten (Gattung *Lappa*) betrachten, so heftet sich der ganze Fruchtstand mit großer Festigkeit an vorbeistreifende Tiere an. Die Blätter des Hüllkelches, die während der Blüte das Köpfchen am Grunde als verhältnismäßig noch weiche Organe umgeben, bilden zur Zeit der Frucht reife derbe, mit lang ausgezogenen und am Ende hakenförmig umgebogenen Spitzen versehene Gebilde, die sich so in den Haaren festsetzen, daß die Tiere bei

dem Versuche sich von der Plage zu befreien, gewöhnlich das Köpfchen zerreißen und dabei die Samen austreuen, ehe sie die Hüllblätter aus den Haaren herausbringen. Wirft man ein solches Kletterkörbchen nach einem Menschen oder einem Hunde, so bleibt es unfehlbar an den Haaren hängen. Die Verbreitung der Kletten durch Tiere und besonders auch durch Menschen ist deshalb eine außerordentliche, und diese lästigen Unkräuter, die allerdings mit ihren großen Blättern zu unseren besonders dekorativ wirkenden und von Landschaftsmalern für den Vordergrund sehr bevorzugten Pflanzen gehören, siedeln sich deshalb überall an, wo sie zusagende Lebensbedingungen finden.

Ganz besonders fest haften auch die Früchte des Zweizahns (*Bidens tripartita* und *B. cernuus*) an den Kleidungsstücken. Bei diesen verlängern sich die Rippen der Fruchtschale, die hier den Pappus vertreten, zu mehr oder weniger langen, mit rückwärts gerichteten Stacheln versehenen Dornen, und man muß

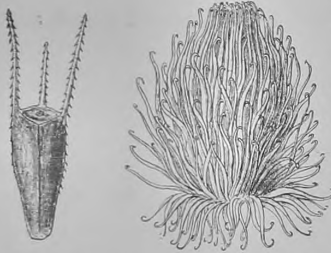


Fig. 71. Links Frucht des Zweizahns (*Bidens tripartita*), rechts Fruchtköpfchen der Klette (*Lappa major*), schwach vergrößert

jedes einzelne Korn mit den Händen aus den Kleidern ziehen, sie haften so fest, daß sie durch Klopfen oder Bürsten nicht entfernt werden können. Es sind Pflanzen, die teils auf feuchten Wiesen, teils an Gräben, in Sümpfen, auch auf feuchtem Ackerland wachsen, und Arbeiter, die an solchen Orten zu tun haben, bringen oft Hunderte von solchen Stachelfrüchten an ihren Beinkleidern mit nach Hause. Es ist klar, daß Pflanzen, die derartig festhaftende Früchte tragen, außerordentlich leicht und weit verbreitet werden müssen, denn selbst kurzhaarige Tiere verlieren die einmal eingehakten Samen nicht so bald.

Nun zeigt sich aber auch, daß diese festhaftenden Früchte den Tieren selbst höchst lästig sind, teils weil die Haare dadurch verfilzt werden und ein unangenehmes Gefühl der Spannung entsteht, teils weil die Borsten oder Widerhaken auch die Haut selbst reizen. Man braucht nur einen Hund, der in ein Klettenfeld gekommen ist, nachher zu beobachten. Aller Augenblicke setzt er sich auf der Weiterwanderung hin, um sich mit den Zähnen oder mit den Pfoten die lästigen Anhängsel zu entfernen. Aber das gelingt ihm immer nur bruchstückweise. Hier hat er ein halbes Klettenköpfchen mit den Zähnen glücklich aus den Haaren herausgezupft und unter drolligen Grimassen ausgespuckt, hundert Schritte weiter setzt er sich wieder, um ein anderes Köpfchen durch Kratzen mit den Pfoten zu entfernen. So geht es noch viele Male, immer mit Pausen dazwischen, und immer hat der Hund inzwischen wieder eine Strecke Weg zurückgelegt, bis endlich alle Kletten aus dem Haar fortgeschafft sind. Aber an ebenso vielen Stellen, als er seine Reinigungsarbeiten verrichtet hat, hat er auch den Samen der Kletten ausgestreut und die Verbreitung eines einzigen Klettenbusches vielleicht an zwanzig anderen Orten bewirkt.

Das Rehwild meidet Klettenfelder in auffallender Weise; jedenfalls sind ihm

die unangenehmen Eigenschaften der Früchte bekannt. Aber wenn man im Herbst geschossenes Rehwild daraufhin untersucht, so wird man irgendwelche Früchte oder Samen mit Widerhaken fast stets zwischen den Haaren finden, allerdings selten von Kletten. Kühe, die in sumpfigen Wiesen weiden, sind oft übersät mit den Früchten von *Bidens cernuus* und *tripartitus*. Besonders verbreitet werden aber alle solche Samen und Früchte durch Schafe, deren Wolle ja auch Samen mit sehr viel unvollkommeneren Haftvorrichtungen aufnimmt und festhält.

Die Schafe sind auch insofern von hervorragender Bedeutung für die Verbreitung von Pflanzen, als ihre Wolle von einem Land zum anderen, selbst von einem Kontinent zum anderen versandt wird und damit nicht selten eine Verbreitung von Pflanzen selbst in anderen Weltteilen stattfindet. Das ist ja freilich eine Erscheinung der Kultur, aber darum nicht minder interessant und für die Haftenrichtungen von Samen und Früchten bezeichnend. Die Wollindustrie ist für eine große Anzahl von Pflanzen hinsichtlich ihrer Verbreitung von großer Bedeutung geworden, ja es sind ganz bestimmte Pflanzenarten fast überall dahin verschleppt worden, wo Wolle verarbeitet wird. Die Samen von *Harpagophyton* haben, weil sie sich so regelmäßig in der Schafwolle gewisser Provenienz vorfinden, von der Technik den Namen Wollspinnen erhalten. Ferner sind es *Spitzenklette*, *Xanthium*, und besonders zahlreiche Arten des *Schneckenklees*, *Medicago*, die fast regelmäßig in der ungereinigten Schafwolle vorkommen, vielfach auch die Samen verschiedener *Umbelliferen*, *Daucus*, *Torilis* u. a.

Nicht bloß mit der Wolle, sondern auch mit den rohen ungegerbten Fellen werden massenhaft Samen oder Früchte mit Haftorganen verschleppt. Deshalb findet man in der Nähe von Gerbereien oder Fellagern oft die merkwürdigsten exotischen Pflanzen bunt durcheinander. Anschließend hieran mag gleich erwähnt werden, daß durch ausländisches Getreide und Sämereien anderer Art (ganz besonders Kleesamen!) eine überraschende Fülle ausländischer Pflanzen alljährlich verbreitet wird. So bieten beispielsweise die Felder und Plätze in der Gegend der Getreidespeicher des Mannheimer Hafens ein buntes Bild fremder Gestalten, das einem stetigen Wechsel unterworfen ist. Denn von den eingeschleppten Pflanzenarten vermag sich nur ein kleiner Teil zu behaupten, die meisten verschwinden im Herbst und kommen im Frühjahr auch nicht wieder, wenn sie nicht von neuem eingeschleppt werden. Es sind Jahre vorgekommen, wo mehr als hundert fremde Arten in der Gegend solcher Getreidespeicher gezählt wurden; im nächsten Jahre waren neun Zehntel davon verschwunden, und es traten vielleicht 20 oder 30 andere Arten dafür auf. Naturgemäß wechseln die Arten hier mehr als bei Gerbereien und Anlagen der Wollindustrie, denn mit dem Getreide können alle möglichen Früchte und Samen verbreitet werden, mit der Wolle oder den Fellen doch nur Arten, die irgendwelche Kletteinrichtungen besitzen.

Die meisten dieser aus fremden Weltteilen eingeschleppten Pflanzen finden allerdings bei uns keine ihnen zusagenden Lebensbedingungen; namentlich die kalten Winter oder Spätfröste im Frühjahr vernichten sie wieder. Ein anderer Teil kann die Konkurrenz mit den einheimischen und naturgemäß an die bestehenden Verhältnisse am besten angepaßten Arten nicht vertragen und wird

unterdrückt, überwuchert, erhält sich vielleicht einige Jahre kümmerlich in einzelnen Exemplaren, um schließlich doch wieder ganz zu verschwinden. Nur einem kleinen Teile gelingt es, wirklich festen Fuß zu fassen und sich auszubreiten, als wenn sie mit ihren Bedürfnissen gerade eine Lücke in der heimischen Flora auszufüllen imstande wären. Gerade sie werden aber oft zu den lästigsten Unkräutern, wie die kanadische Wasserpest oder die aus den Cordilleren Südamerikas stammende *Galinsoga parviflora*, die in manchen Gegenden Deutschlands, z. B. um Karlsruhe in Baden, zu den unausrottbarsten Unkräutern gehört.

Von unseren heimischen Pflanzen mit Klettvorrichtungen seien noch besonders die Labkrautarten (*Galium*), Odermennig (*Agrimonia*) und Hexenkraut (*Circaea*) erwähnt. *Galium Aparine*, eine langstengelige, an Gebüschen vermöge ihrer steifen Borsten sich fest anklammernde und dadurch trotz des schwachen Stengels emporkletternde Pflanze, ist im Volksmund unter dem Namen Kleb-

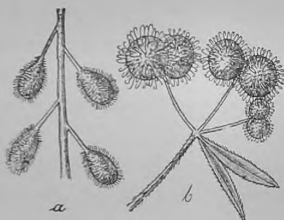


Fig. 72. Anhängende Früchte a von Hexenkraut (*Circaea Lutetiana*), b von Klebkraut (*Galium Aparine*), c von Odermennig (*Agrimonia Eupatorium*). Schwach vergrößert

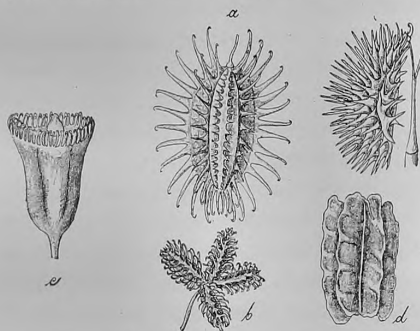


Fig. 73. Anhängende Früchte a von der Mohrrübe (*Daucus Carota*), b von *Caulis daucoides*, c von *Turgenia latifolia*, d von *Laserpitium latifolium*. Schwach vergrößert

kraut bekannt. Reißt man einen Zweig dieser Labkrautart ab und wirft ihn nach einer anderen Person, so bleibt er sicher an der Kleidung hängen. Der Stengel ist nämlich dicht mit steifen, rückwärts gerichteten Borsten besetzt. Noch mehr aber, als die Zweige der Pflanzen haften die reifen Früchte, die nicht nur ebenfalls dicht mit Borsten besetzt sind, sondern diese sind am Ende noch hakenförmig umgebogen. Die rundlichen kleinen Fröchtchen haften an der Kleidung oder am Haarkleid der Tiere nicht so fest wie die oben besprochenen Kletten, fallen aber doch auch nicht von selbst ab und müssen einzeln abgenommen werden. Bei langhaarigen Tieren, z. B. bei langhaarigen Hunden, können sie aber in geradezu unauflöslicher Weise die Haare verwirren und verfilzen, so daß man gezwungen ist, die Haare abzuschneiden. Ebenso fest haften die Früchte des Odermennigs an der Kleidung, durch ihre betröchtliche Größe sofort unterscheidbar, und die kleineren, mehr elipsoidischen des Hexenkrautes, die besonders in manchen Auenwäldungen verbreitet sind.

Auch unter den Umbelliferen gibt es zahlreiche Arten, deren Früchte Hakenborsten besitzen, so vor allem die Mohrrübe, ferner in sehr ausgesprochener

Form die Haftdolde (*Caucalis daucoides*), die namentlich auf Kalk vorkommt, aber nicht gerade häufig ist. Auch *Laserpitium latifolium*, der Heckenkerbel, klemmt sich mitunter mit seinen breiten Lamellen zwischen die Haare, aber nur locker, da er keine eigentlichen Kletteneinrichtungen ausbildet; dagegen sind *Torilisarten* und *Turgenia latifolia* ähnlich wie *Caucalis* mit Kletteneinrichtungen versehen.

Unter den Gräsern gibt es ebenfalls eine große Anzahl, deren Früchte mit Kletteneinrichtungen versehen sind. Im weitesten Sinne kann man dazu alle Arten rechnen, deren am Samen bleibende Spelzen mit Grannen versehen sind, z. B. der Hafer, der zwar mit seinen Grannen im Haarkleid nicht sehr fest haftet, aber doch auch ziemlich weit mitgeschleppt werden kann, ebenso die Mäusegerste, *Hordeum murinum*, deren reif sich leicht ablösende Ährchen leicht hängen bleiben. Bei den als Getreide gebauten Gramineen ist das allerdings deshalb weniger der Fall, weil die Samen in der Kultur verhältnismäßig zu schwer geworden sind, so daß die Kletteneinrichtung dafür nicht mehr genügt. Daß sie aber doch noch vorhanden ist, kann man an einem sehr einfachen Versuch feststellen. Steckt man sich ein Stück einer begrannten Gerstenähre mit den Grannen aufwärts an der Hand in den Rockärmel und geht eine Strecke in gewöhnlicher Weise mit den Armen sich bewegend weiter, so rutscht die Ähre allmählich immer höher, bis sie schließlich an der Achsel anlangt. Das ist eine Folge der rückwärts gerichteten Häkchen an der Granne, die wohl bei den Bewegungen ein Fortschieben nach oben, nicht aber ein Zurückweichen zulassen. Die Gerstengrannen vermögen sich also unter Umständen wohl noch festzuhalten und sogar tiefer in die Kleidung oder das Haarkleid einzuarbeiten.

Ganz ähnliche Einrichtungen finden sich nun noch bei den Arten der verschiedensten Familien, unter den Rosaceen z. B. *Geum urbanum*, unter den Schmetterlingsblütlern besonders die verschiedenen *Medicagoarten*, unter den Rubiaceen verschiedene Arten der Gattung *Galium*, außerdem Waldmeister (*Asperula odorata*), unter den Borraginaceen *Cynoglossum* und zahlreiche andere, unter den Lippenblütlern *Marrubium* usw. Allerdings sind die Organe, welche das Haften vermitteln, sehr verschiedenen Ursprungs, hakenförmig umgebogene Narben, zu bewehrten Dornen ausgewachsene Kelchzipfel oder Blätter des Hüllkelches oder über die ganze Frucht zerstreute Hakenborsten können die gleichen Dienste verrichten.

IX. KAPITEL

Das Ausschleudern von Sporen und Samen

Auch dadurch, daß bei manchen Pflanzen Einrichtungen zum mechanischen Ausschleudern von Sporen oder Samen bestehen, kann eine Verbreitung bewirkt werden, wenn auch diese Verbreitung im allgemeinen nur eine begrenzte sein wird.

Besonders häufig sind solche Einrichtungen bei den Kryptogamen und hier

wieder hauptsächlich bei den Pilzen vorhanden. Der bekannte Pilz der Stubenfliegen, *Empusa Muscae*, der im Herbst fast regelmäßig epidemisch auftritt, besitzt für seine Conidien ebenfalls einen Schleuderapparat. Kranke, von dem Pilz infizierte Fliegen sind im Herbst überall zu finden; sie setzen sich schließlich irgendwo hin und saugen sich mit dem Rüssel fest, spreizen Flügel und Beine weit auseinander und nehmen eine so charakteristische Stellung ein, daß sie sofort als infiziert zu erkennen sind. In dieser Stellung sterben sie bald, und sehr bald findet man nicht nur die Fliegen selbst, sondern auch die nächste Umgebung mit einem weißlichen, mehlartigen, aber fest anhaftenden Staube bestreut; es sind die fortgeschleuderten Conidien des Pilzes.

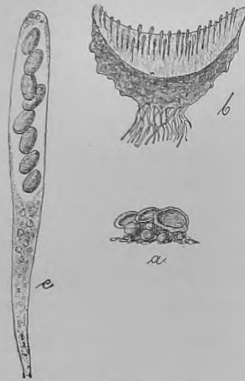


Fig. 74. *Ascobolus furfuraceus* (*A. stercorarius*). a Gruppe von Fruchtkörpern bei Lupenvergrößerung; b durchschnittener Fruchtkörper mit vorstehenden Schläuchen, schwach vergrößert; c Schlauch mit 8 Sporen vor dem Ausschleudern, stark vergrößert

Ist eine Fliege von dem Pilz infiziert, so durchwuchert der letztere bald den ganzen Fliegenkörper, die kranke Fliege nimmt die vorher beschriebene eigentümliche Stellung ein, und nun durchbrechen die einfachen Conidienträger des Pilzes, zarte farblose, mikroskopisch kleine Fäden die Fliege und schwellen an ihrem Ende mehr oder weniger keulenförmig an; über dieser als Basidie bezeichneten keulenförmigen Anschwellung wird die kugelige Konidie abgeschnürt. Ist die Konidie reif, so platzt die darunter stehende keulenförmige Basidie plötzlich auf und durch dieses Aufplatzen wird die Konidie mitsamt dem protoplasmatischen Inhalt der Basidie fortgeschleudert. Die Conidien sind deshalb stets von einer mehr oder weniger großen, klebrigen Flüssigkeitsmasse begleitet, welche bewirkt, daß die Conidien sofort festkleben, wo sie auf irgendeinen Gegenstand auftreffen.

Die ganze Einrichtung ist für die Verbreitung des Pilzes äußerst günstig. Zumeist werden kleine Erschütterungen des toten Fliegenkörpers ein Aufplatzen

der Basidien und damit ein Ausstreuen der Sporen veranlassen, und dies geschieht wieder häufig, indem Fliegen den toten Körper berühren. Fliegen untersuchen mit Rüssel oder Beinen alles, was ihnen in den Weg kommt, und jede tote Fliege wird natürlich sofort betastet und befühlt. Jede leise Berührung genügt aber, um unzählige der kleinen verderbenbringenden Geschosse zum Abschleudern zu bringen, und wenn auch nur eins die gesunde Fliege trifft, so ist sie verloren. Denn die Spore bleibt infolge der Flüssigkeitshülle an der Fliege haften, keimt sehr rasch, indem sie mit ihrem Keimschlauch die Chitinwand durchbohrt und entwickelt sich in kürzester Zeit zu einem wieder Sporen abschnürenden Pilzkörper. Ähnlich wie dieser zu den Entomophthoreen gehörige Pilz, verhalten sich eine ganze Anzahl verwandte.

Aber auch Pilze, die ganz anderen Gruppen angehören, zeigen ähnliche Schleudereinrichtungen, die zum Teil noch viel energischer wirken. Wenn man frischen Kuhmist in einer Doppelschale von Glas hält und vor Austrocknung

schützt, so entwickelt sich fast mit Sicherheit eine eigentümliche Pilzart, *Ascobolus furfuraceus* Pers., dessen gelblich-braune, etwa millimeterbreite Fruchtkörper zahlreiche Schläuche mit je acht Sporen entwickeln. Auch diese Sporen werden gewaltsam aus den Schläuchen durch Platzen derselben ausgeschleudert, und sehr bald bedeckt sich die Wand der oberen Schale mit einer Schicht der ausgeschleuderten und haftenbleibenden Sporen.

Bei den Schleimpilzen bildet sich im Innern des Fruchtkörpers ein elastisches und stark hygroskopisches Fasernetz, das *Capillitium*, aus, zwischen dessen feinen Fasern die Sporen liegen. Durch die hygroskopischen Bewegungen derselben werden die Sporen ausgeschleudert. Ein ähnliches *Capillitium* finden wir auch bei höheren Pilzen wieder, aber auch bei vielen Lebermoosen, bei denen die Elateren oder Schleudern, wie die hygroskopischen Fasern hier genannt werden, ebenfalls sehr wesentlich zur Ausschleuderung der Sporen dienen.

Allerdings wird die Ausschleuderung der Sporen bei den Kryptogamen meist nur in sehr beschränkten Grenzen eine Verbreitung der Art bewirken, wenn nicht noch andere Faktoren hinzukommen. Im allgemeinen wird ein Ausschleudern größerer Mengen von Sporen plötzlich durch eine bestimmte Veranlassung geschehen; bei *Empusa Muscae* kann dies durch die Berührung des toten Fliegenkörpers durch eine andere Fliege geschehen, und die hierbei infizierte Fliege schleppt die Krankheit fort und verbreitet sie dabei über Entfernungen, zu welchen die Schleuderweite der Sporen in gar keinem Verhältnis steht. Ähnlich wirken bei anderen Pilzen ebenfalls Erschütterungen, z. B. ein plötzlicher Windstoß. Der Windstoß wirkt aber nicht bloß auf das Ausschleudern, sondern er führt auch gleichzeitig die ausgeschleuderten Sporen mit fort, diese werden vielmehr dem Winde durch das Ausschleudern nur besser zugänglich gemacht. Ähnlich liegen die Verhältnisse bei den mit Elateren ausgerüsteten Kapseln der Lebermoose; ein Windstoß trocknet die Feuchtigkeit der Elateren im Augenblick, und dieser Austrocknung folgt eine ebenso plötzliche Bewegung der Schleudern, die dabei Sporen in die Luft werfen und so dem Winde zugänglich machen.

Von den Blütenpflanzen erfreut sich die bekannte Spritzgurke, *Ecballium Elaterium*, eines besonders großen Rufes hinsichtlich des Ausschleuderns ihrer Samen, obgleich andere Cucurbitaceen darin weit mehr leisten. Die Spritzgurke ist ein im Mittelmeergebiet überall verbreitetes, in botanischen Gärten regelmäßig kultiviertes Kraut mit kleinen gurkenähnlichen, borstigen Früchten, die an einem hakig gebogenen, zapfenförmig in die Frucht hineinragenden Fruchtsiel hängen. Bei der Reife besteht eine sehr starke Spannung zwischen der derben Fruchtwand und dem sich immer noch vergrößernden, die Samen enthaltenden schleimig-flüssigen Inhalt. Schließlich wird das Zäpfchen des Fruchtsieles herausgedrängt,



Fig. 75. *Ecballium elaterium*, Spritzgurke, eine eben abfallende und die Samen ausspritzende Frucht

die Frucht fällt ab, und der von der Fruchtwand zusammengepreßte Inhalt wird plötzlich mit Gewalt durch das Zäpfchenloch herausgespritzt. Auch hier werden solche Explosionen hauptsächlich dann eintreten, wenn ein Tier an die Frucht anstreift und den ohnehin nicht mehr festen Halt zwischen Frucht und Stiel löst. Dabei bietet sich aber für die Pflanze eine günstige Gelegenheit zu einer sehr viel größeren Verbreitung, als durch die Gewalt des Schleuderapparates allein. Gerät das Tier in die Richtung des ausspritzenden Fruchthalt, so werden die schleimigen Samen an Haaren und Federn hängen bleiben und verschleppt werden, bis sie beim Eintrocknen abfallen, oder an anderen Gegenständen abgerieben werden. Bei den Gattungen *Cyclanthera*, *Momordica*, *Elatarium* (Springgurken), rollen sich Teile der mitunter zygomorph ausgebildeten Frucht plötzlich nach rückwärts ein, und die Samen werden bei dieser heftigen Bewegung weit fortgeschleudert.



Fig. 76. Wilde Balsamine (*Impatiens Noli tangere*). Eine geschlossene und eine eben geöffnete, die Samen gerade aus der Kapsel ausschleudernde Kapsel



Fig. 77. Kapsel des Sauerklees (*Oxalis Acetosella*), im Begriff, die Samen auszuschleudern. Rechts oben ist ein Samen eben aus der Hülle ausgeschleudert, links oben tritt ein Samen gerade aus der Hülle hervor

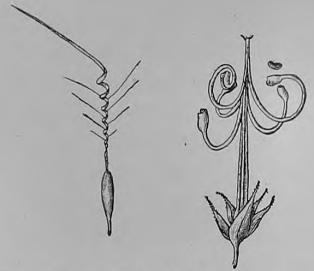


Fig. 78. Links Teilfrüchtchen des Reiherschnabels (*Erodium*), rechts Frucht von *Geranium palustre*, im Begriff, die Samen auszuschleudern

Unter unsern heimischen Pflanzen gibt es zwar keine, welche eine so verblüffende Erscheinung beim Ausschleudern der Samen zeigt, wie die Spritzgurke, aber immerhin sind einige Arten mit einem so kräftigen Schleudermechanismus versehen, daß sie infolge dieser Einrichtung im Volksmunde besondere Namen erhalten haben. Hier ist zunächst die wilde Balsamine, *Impatiens Nolitangere* zu nennen, die im Volksmunde „Rührmichnichtan“ oder „Springkraut“ heißt. Die reizende einjährige, stellenweise ziemlich häufige Pflanze wächst mit Vorliebe an feuchten Waldwegen, an Bächen in unsern Mittelgebirgen und im Hügellande, und bildet verschieden große gelbe, gespornte Blüten. In der Ebene wird sie schon an vielen Stellen ersetzt durch die aus Sibirien eingewanderte und stellenweise zu einem lästigen Unkraut gewordene *Impatiens parviflora*, die nicht nur durchweg viel kleinere Blüten trägt, sondern überhaupt kaum halb so hoch wird als ihre deutsche Verwandte. Die Frucht beider ist sich sehr ähnlich und besitzt auch die gleichen Eigenschaften; es ist eine längliche, schotenförmige Kapsel, die aus fünf Fruchtblättern gebildet wird. Unter der dünnen Außenhaut liegt eine aus sehr stark turgeszenten Zellen gebildete Gewebsschicht, welche sich aus-

zudehnen bestrebt ist, aber durch die innere, nicht so stark turgeszente Gewebsschicht daran gehindert wird, solange die Teile der Kapsel noch fest zusammenhalten. Dadurch wird eine starke Spannung in der Kapsel erzeugt; reifen die Samen, so wird der Zusammenhang der einzelnen Fruchtblätter gleichzeitig immer geringer und in dem Augenblick, in welchem die zusammenhaltende Kraft zwischen den Fruchtblättern geringer wird als das Ausdehnungsbestreben der mittleren Gewebsschicht (Schwellschicht), platzt die Kapsel auf und die Fruchtblätter rollen sich plötzlich mit großer Vehemenz zusammen. Dabei werden die Samen eine ganz beträchtliche Strecke weit fortgeschleudert. Ein von außen kommender Anstoß, ein Berühren der Kapsel löst sehr oft plötzlich den Mechanismus aus, und schon mancher hat im Schreck darüber, daß die angefaßte Kapsel so energische Bewegungen zeigte, rasch losgelassen, weil er glaubte, statt einer Kapsel eine Raupe oder sonst irgendein Insekt angefaßt zu haben.

Ganz eigentümlich ist auch der Schleudermechanismus bei dem in unsern feuchten Wäldern überall gemeinen Sauerklée (*Oxalis Acetosella*). Auch hier ist zwar eine Spannung zwischen einem aus turgeszenten Zellen bestehenden Schwellgewebe und einer nicht turgeszenten Schicht die Ursache des Ausschleuderns, aber diese Gewebsschichten liegen nicht in der Kapselwand, sondern in der Samenhaut selbst. Die äußere Samenhaut ist eine trockene, nicht turgeszente Schicht, während die darunter liegende aus stark turgeszenten Zellen besteht, die durch Quellung der Zellwände bei der Reifung der Samen ein so großes Ausdehnungsbestreben erhalten, daß die äußere Schicht schließlich platzt und sich rasch zurückrollt. Durch dieses plötzliche Verschwinden des Widerstandes an einer Seite wird der Samen infolge des Überdruckes auf den andern Seiten mit großer Kraft nach dieser Richtung ausgeschleudert und fliegt durch die inzwischen geöffnete Kapsel fort.

Bei manchen Arten der Gattung Schaumkraut (*Cardamine*) und *Dentaria* rollen sich die Fruchtblätter beim Aufspringen der Schote plötzlich rasch nach außen ein, wobei die Samen ebenfalls fortgeschleudert werden. Bei den Veilchen findet ein teilweises Ausschleudern der Samen dadurch statt, daß die Ränder der drei kahnförmigen Fruchtblätter, die bei der reifen Kapsel oben auseinandergeklappt sind, einen Druck auf die in der kahnförmigen Höhlung befindlichen Samen ausüben und diese dabei gewissermaßen herausgequetscht werden. Das geschieht allerdings mit sehr verschiedener Intensität, und während manche eine ganze Strecke weit fliegen, fallen andere einfach bloß aus der Kapsel heraus.

Bei den Geraniaceen ist die Ausschleuderung der Samen ebenfalls sehr allgemein verbreitet, und auch bei den einheimischen Arten leicht zu verfolgen. Hier ist im Gegensatz zum Springkraut das Austrocknen, und damit die Verkürzung einer Gewebsschicht der Fruchtwand die Ursache der Einrollung, bei welcher die Samen ausgeschleudert werden. Bei der Reife zerfällt die Frucht der Geraniaceen in fünf Teilfrüchtelchen, indem sich die Fruchtblätter von dem stehenbleibenden Mittelsäulchen lösen. Bei den großblütigen Arten, z. B. bei dem Sumpfstorchschnabel (*Geranium palustre*, aber auch bei *G. pratense*, *sanguineum*) liegen die Samen am Grunde so von dem Fruchtblatt umschlossen,

daß sie nur nach einer Seite heraus können. Das Ablösen der als „Granne“ bezeichneten Fruchtknotenwand von dem Mittelsäulchen findet dadurch statt, daß die äußere Schicht der Wand rascher austrocknet und sich dadurch mehr verkürzt, als die innere. Dadurch tritt eine Spannung ein, die schließlich dazu führt, daß der Zusammenhang zwischen den einzelnen Fruchtblättern und diesen und dem Mittelsäulchen plötzlich gesprengt wird, und eine gewaltsame Krümmung der Grannen nach außen und aufwärts stattfindet. Da die Grannen am oberen Ende mit dem Mittelsäulchen verbunden bleiben, so ist diese Krümmung begrenzt; die rasche Bewegung hat sich aber auch dem locker in der Tasche der Granne liegenden Samen mitgeteilt, und schleudert ihn hinaus, wenn die Bewegung der Granne selbst aufhört. Bei den kleinblütigen Storchschnabelarten (*Geranium molle*, *pusillum*, *Robertianum* u. a.) und bei dem Reiherschnabel (*Erodium*) spielt sich der Vorgang etwas anders ab; hier löst sich die ganze Granne ab und schnellte sich infolge der uhrfederartigen Einkrümmung mitsamt dem Samen fort. Im einzelnen sind übrigens die Einrichtungen bei den Storchschnabelarten noch sehr verschieden, und es besitzen nicht einmal alle Arten die Fähigkeit, die Samen auszuschleudern. Das ist z. B. bei dem *Geranium bohemicum* nach Lundström der Fall, dessen Teilfrüchtchen sich von oben herab vom Säulchen ablösen und sitzen bleiben, vielleicht durch Tiere verbreitet werden, wozu die zurückgebogene Spitze der Granne vielleicht geeignet ist.

Auch bei vielen Leguminosen kommt ein nicht unbeträchtliches Ausschleudern der Samen vor. Bei vielen Lupinenarten ist das Ausschleudern mit einem sehr deutlich vernehmbaren Knacken verbunden; wer Gelegenheit hat, im Herbst einen frisch aufgebauten Lupinenschober daraufhin zu untersuchen, der wird, sobald die höhersteigende Sonne den Tau weggetrocknet hat, ein fortwährendes Knistern und Knacken in den Lupinen vernehmen, welches von dem Aufspringen der reifen Kapseln herrührt. Für *Lupinus digitatus* gibt Kerner an, daß die Samen bis auf eine Entfernung von 7 Metern fortgeschleudert werden. Bei *Wistaria chinensis*, ebenfalls einer Leguminose, die bei uns gern zur Bekleidung von Mauern verwendet wird und im Frühjahr durch ihre prächtigen blaßblauen Blütentrauben entzückt, sollen die Samen etwa 10 Meter weit geschleudert werden. Auch bei dem Besenginster (*Sarothamnus scoparius*), bei den verschiedenen Walderbsen und Platterbsen (*Orobus*, *Lathyrus*), sowie bei einigen Wickenarten (*Vicia*), findet ein Ausschleudern der Samen statt. Bewirkt wird dasselbe in allen diesen Fällen durch ein plötzliches schraubiges Aufdrehen der Hülsen. Bei der Reife trocknen die verschiedenen Schichten der Hülsenwände in verschiedener Weise aus, ähnlich wie bei *Geranium*, aber außerdem verläuft die Längsrichtung der Zellen in der äußeren Gewebsschicht quer zu der der Zellen in den darunterliegenden Gewebsschichten, und da die Zusammenziehung in der Längsrichtung immer am größten ist, so muß naturgemäß die Spannung bei ungleichem Austrocknen bei dieser Einrichtung noch weit größer werden.

Bei allen diesen Schleudereinrichtungen ist die Wirkung mit Rücksicht auf die Verbreitung der Pflanzen allerdings eine sehr beschränkte. Bei den 2,5 g wiegenden Samen von *Bauhinia purpurea* gibt Kerner die Wurfweite auf 15 m

an, bei *Geranium palustre* mit 0,005 g schweren Samen auf 2,5 m, bei den ebenso schweren Samen von *Cardamine impatiens* auf 0,9 m. Für eine Verteilung der Samen auf engerem Raum wird zwar in sehr umfangreicher Weise gesorgt werden, aber eine Ausbreitung der Art findet jedenfalls nur sehr langsam statt. Merkwürdig ist, daß die weitaus meisten Pflanzen, die solche Schleudereinrichtungen besitzen, zur Flora schattiger Wälder gehören, also an Stellen vorkommen, an denen der Wind die Rolle des Samenverbreiters nur in sehr unvollkommenem Maße übernehmen könnte. Es würde ihnen also auch eine solche Einrichtung nicht viel nützen. Kerner nimmt an, daß anstreifende Tiere, die ja sehr leicht die eben reif gewordenen Früchte zur Explosion bringen, mit den Samen beworfen werden und diese dann verbreiten. Es wäre dann der Schleudermechanismus eine für Verbreitung durch Tiere geeignete Einrichtung, wie dies ja beispielsweise bei der Spritzgurke zweifellos ist. Aber gerade bei vielen unserer einheimischen Pflanzen mit Schleuderapparaten, wie bei dem Springkraut, beim Sauerklee, bei dem Schaumkraut und besonders bei den Leguminosen sind die Samen so glatt und gleichzeitig so trocken beim Aufspringen der Früchte, daß sie eher dazu bestimmt scheinen, nicht am Haar- oder Federkleid haften zu bleiben, sondern abzugleiten. Jedenfalls würde die Einrichtung eine sehr unvollkommene sein, und nur unter ganz besonderen glücklichen Umständen einmal Erfolg haben.

Unvollkommene Einrichtungen zum Ausstreuen oder Ausschleudern von Samen besitzen eine ganze Anzahl Pflanzen; sie sind nämlich nicht selbst imstande, die Samen auszuschleudern, aber so eingerichtet, daß dies durch eine von außen einwirkende Kraft leicht geschehen kann. Hierher gehören z. B. viele Lippenblütler, deren Samen zu vier locker am Grunde des Fruchtkelches liegen. Biegt man den Stengel einer solchen Pflanze mit reifen Früchten zurück und läßt ihn los, so werden die Samen wie Wurfgeschosse aus dem Kelchgrunde herausgeschleudert werden, mitunter auf gar nicht unbeträchtliche Entfernungen. Allerdings ist die Wurfweite hier vollständig von äußeren Verhältnissen abhängig, aber jedes vorübergehende Tier wird ein solches Umbiegen und Zurückschnellen und damit Ausschleudern der Samen der berührten Pflanze veranlassen, in geringerem Grade auch plötzliche Windstöße. Auch der Mohn dürfte hierher gehören, wenn auch seine verhältnismäßig kleinen und leichten Samen durch ein Zurückbiegen und Losschnellen allein nicht mit fortgeschleudert werden, so kann doch der Wind dabei schon mitwirken. Ein plötzlicher Windstoß bringt die Kapsel nicht allein in so beträchtliche Schwingungen, daß die Samen zu den Öffnungen im oberen Teil der Kapsel herausfliegen, sondern er nimmt die Samen eben wegen ihrer Leichtigkeit auch noch eine Strecke weit mit.

X. KAPITEL

Fortbewegung der ausgefallenen Samen und Früchte
und Einbohrung derselben in den Boden

Es wurde bereits im Anfang dieses Abschnittes darauf hingewiesen, daß viele Früchte oder Samen besonders geeignet sind, fortzurollen, oder vom Wasser fortgeschwemmt zu werden. Im ersteren Falle sind die Früchte oder Samen rundlich, glatt, im letzteren möglichst flach und spezifisch leichter als Wasser, besondere auffallende Einrichtungen sind aber an ihnen nicht erkennbar. Dagegen gibt es bei manchen Früchten Einrichtungen, die nur durch den Wechsel im Feuchtigkeitsgehalt ein Fortbewegen der Früchte bewirken, und zwar vermöge ihres Baues gewöhnlich nur nach einer Richtung hin.

Zu diesen Einrichtungen, welche ein nachträgliches Kriechen der Früchte ermöglichen, gehören besonders die Grannen der Gräser. Die Grannen sind fast alle mehr oder weniger stark hygroskopisch, sie sind ferner meist durch kleine rückwärts gerichtete Zähnnchen oder Härchen rau, und bei vielen Arten sind sie noch knieförmig gebogen oder selbst spiralig oder schraubig gekrümmt. Gebogene Grannen, z. B. bei *Aira flexuosa*, *Avena sterilis* werden infolge der Drehungen, die sie bei ihren hygroskopischen Eigenschaften fortwährend ausführen, das Samenkorn selbst bald in diese, bald in jene Lage bringen, und hierdurch allmählich fortbewegen. Die rückwärts gerichteten Borsten an der Granne hindern aber ein Zurückweichen nach der der Fortbewegung entgegengesetzten Richtung, so daß vielfach eine wirkliche Ortsveränderung der Samen eintritt. Indessen sind diese Bewegungen nicht imstande, die Früchte in nennenswerter Weise zu verbreiten; ihre Aufgabe liegt auch der Hauptsache nach in einer anderen Richtung, sie sollen ein Einbohren des Samens in den Boden bewirken.

Pflanzen mit ausgezeichneten Einrichtungen zum Einbohren der Samen in den Boden finden wir außer bei den Gräsern auch bei den Storchschnabelgewächsen, und zwar bei denjenigen Arten, bei denen die Granne mit abgeschleudert wird. Bei dem überall gemeinen Reiherschnabel (*Erodium cicutarium*) wird die Granne, wie schon erwähnt, durch einen Teil des Fruchtblattes gebildet; sie ist eine Strecke weit über dem das Samenkorn enthaltenden erweiterten Teil korkzieherartig gewunden, während der ziemlich ebenso lange gerade Endteil unter einem beinahe rechten Winkel abgebogen ist. Beim Ausschleudern sinkt der schwere das Samenkorn tragende und unten zugespitzte Teil der Frucht nach unten und wird unter günstigen Verhältnissen sich bereits hierbei mit der Spitze etwas einbohren. Nun kommt die Wirkung der hygroskopischen Granne hinzu, die sich bei jeder Änderung des Feuchtigkeitsgehaltes der Luft dreht und dabei das obere abgebogene Ende wie einen Uhrzeiger bewegt. Dieses freie Ende wird aber bei der Unebenheit des Bodens sehr bald irgendwo Widerstand finden, so daß sich die Torsionen nicht nach oben zu fortsetzen können, sondern nach unten zu, auf das Korn wirkend und dieses unter

bohrender Bewegung tiefer in den Boden einsenkend. Wenn auch bei jeder dieser hygroskopischen Krümmungen nur geringe Bruchteile einer Millimeters gewonnen werden, so wirken eben diese Bewegungen doch fortwährend. Bei einem im Sommer 1907 angestellten Versuch mit zehn Früchten des Reiherschnabels auf loser Gartenerde zeigte sich, daß das Einbohren unter Umständen sehr schnell geht. Die Früchte waren in Blumentöpfen nur so weit eingesenkt, daß sie gerade in annähernd aufrechter Stellung stehen blieben, so daß der das Samenkorn enthaltene Teil des Fruchtblattes noch über der Erde sich befand und nur die Spitze in dem Boden steckte. Dann wurde ein Erdklümpchen so an den abgebogenen Teil der Granne gelegt, daß die Drehung derselben nach einer bestimmten Richtung verhindert wurde. Die Blumentöpfe standen im Garten zu ebener Erde. Nach sechs Stunden waren bei zwei Früchten die samenhaltenden Teile bereits unter der Erde verschwunden, bei zwei weiteren war dies am anderen Morgen nach etwa 18 Stunden der Fall, bei den übrigen ging der Prozeß langsamer, und eine Frucht kam auch nach Verlauf von einer Woche nicht in die Erde. Diese Verschiedenheiten werden jedenfalls durch selbst geringfügige Ungleichheiten im Boden und im Widerstand, den die sich einbohrenden Früchte dort finden, bedingt, aber nicht ausschließlich; es zeigte sich nämlich, daß bei allen Früchten, bei denen ein Einwärtsdrehen des abstehenden Grannenteils durch den künstlich geschaffenen Widerstand verhindert wurde, sich rascher einbohren als Früchte, bei denen dieser Grannenteil beim Aufrollen der Krümmung auf Widerstand stieß.

Ähnlich wie der Reiherschnabel, verhalten sich auch eine Anzahl kleinblütiger Storchschnabelarten (*Geranium*). Am kräftigsten wirken aber die Bohrvorrichtungen bei einigen Gräsern. Die Spelzen laufen bei ihnen in spitze, stark hygroskopische und knieförmig gebogene Grannen aus, die unterhalb der Biegung oft stark gedreht sind. Beim Befeuchten und Austrocknen der Granne wird jedesmal eine Drehung erzielt, der die Spelzen und damit das Samenkorn folgen; durch die rückwärts gerichteten Häkchen oder Borsten ist aber ein Zurückgleiten der Frucht beim Aufrollen des hygroskopischen Teiles ausgeschlossen, und es wird vielmehr die Granne weiter vorgeschoben. Bei dem nächsten Einrollen wird die Frucht wieder nachgezogen, so daß die Frucht mit der Granne voran in fortwährender, kriechender Bewegung ist. Namentlich Gräser mit kleineren Samen werden auf diese Weise nach und nach tief in den Erdboden eingebohrt. Von heimischen Gräsern sind es besonders verschiedene Haferarten (*Avena fatua*, *sterilis*, *barbata*), ferner Arten der Gattungen *Aira*, *Anthoxanthum*, *Stipa*, *Trisetum*.

Die Bohrwirkung dieser Grasfrüchte ist eine so große, daß sie unter Umständen auch recht unangenehme Folgen für Tiere, besonders für die dicht wollhaarigen Schafe haben können. Von verschiedenen Beobachtern wird angegeben, daß solche sich einbohrende Grasfrüchte (z. B. von *Stipa capillata*), sobald sie in die Wolle der Schafe gelangen, durch diese hindurchwandern und selbst in den Körper sich einbohren, selbst bis in die Eingeweide, so daß sie den Tod der Tiere durch Entzündungen herbeiführen können.

XI. KAPITEL

Geokarpe Früchte

Man kennt eine nicht unbeträchtliche Anzahl von Pflanzen, deren Früchte im Erdboden zur Reife gelangen, während die Blüten normal über der Erde gebildet waren; solche Früchte bezeichnet man als geokarp. Neben Arten mit ausschließlich geokarpen Früchten finden sich aber auch solche, bei denen nur ein Teil der Früchte in den Erdboden versenkt wird, während ein anderer in normaler Weise in der Luft reift, es sind dies die amphikarpen Pflanzen, von denen ein beträchtlicher Teil gleichzeitig auch neben normalen sich öffnenden Blüten auch kleistogame entwickelt.

Die Ausbildung der Geokarpie kann auf verschiedene Ursachen zurückzuführen sein. Die in der Erde reifende Frucht ist nicht bloß gleich in die Erde eingebettet und so für die Keimung günstiger gestellt, sondern sie ist auch während der Reifezeit und von dieser an bis zur Keimung der Nachstellung vieler Tiere entrückt. Beide Formen, Amphikarpie sowohl als reine Geokarpie, kommen fast ausschließlich bei Pflanzen vor, die nach der Samenreife absterben. Für die Verbreitung werden rein geokarpe Pflanzen allerdings verhältnismäßig schlecht geeignet sein, während bei den amphikarpen die oberirdisch entwickelten Früchte für die Weiterverbreitung, die unterirdisch gereiften für die Erhaltung der Art an ihrem bisherigen Standort dienen.

Zu den amphikarpen gehören von einheimischen Pflanzen eine Anzahl Schmetterlingsblütler, von denen die allgemein verbreitete *Vicia angustifolia* noch mit am häufigsten Erdfrüchte ausbildet. Denn nicht immer werden solche gebildet, im Gegenteil, in der Mehrzahl der Fälle finden sie sich nicht, während die sehr nahe verwandte *Vicia amphicarpa* des Mittelmeergebietes wieder überwiegend Erdfrüchte entwickelt. Ascherson fand bei *Vicia angustifolia* unweit Berlin zuerst unterirdische weiße Ausläufer, an denen kleistogame Blüten entwickelt waren, außerdem aber auch an den oberirdischen Sprossen normale geöffnete Blüten. Sie ist auch anderwärts später mit ausgebildeten unterirdischen und gleichzeitig oberirdischen Früchten gefunden worden. Beide, sowohl *V. angustifolia* wie *V. amphicarpa*, werden übrigens vielfach nur als Formen der gewöhnlichen Futterwicke, *V. sativa*, angesehen.

Beim Sauerklee stehen die kleistogamen Blüten allerdings oberirdisch, die Früchte werden aber während der Samenreife vergraben, während die der normalen Blüten auch oberirdisch bleiben und sich durch den beschriebenen Schleudermechanismus der Samen auszeichnen. Hier ist der Unterschied zwischen den beiden Fruchtformen auch hinsichtlich der Bedeutung für die Verbreitung der Pflanze besonders scharf ausgedrückt; die Erdfrüchte erhalten die Art an der Stelle, wo die Mutterpflanze stand, die Luftfrüchte verbreiten sie in der Umgebung. In Fig. 119 und 120 ist links unten deutlich eine aus einer kleistogamen Blüte entstandene Frucht des Sauerklee zu sehen, die eben im Begriff ist, im

Erdboden zu verschwinden. Man sieht am Fruchtsiel noch einige halbschraubige Windungen, durch deren allmähliche Streckung die Frucht in den Erdboden eingebohrt wird. Ähnlich verhalten sich verschiedene Viola- und Linariaarten.

Von unseren einheimischen Linariaarten mit niederliegendem Stengel zeigt die schon in Süddeutschland überall an Felsen und Mauern verbreitete, sehr zierliche *L. cymbalaria*, ein ganz anderes Verhalten. Sie entwickelt nur normale, geöffnete Blüten, die Blütenstiele krümmen sich sehr energisch dem Licht entgegen, nach dem Verblühen aber wenden sie sich ebenso energisch vom Licht fort und gleichzeitig abwärts unter oft sehr erheblicher Verlängerung. Der natürliche Standort der Pflanze ist Fels, und in den Ritzen und Spalten von Felsen und Mauern, die geringe Spuren von Erde und Humus enthalten, wurzelt das zierliche Pflänzchen, von hieraus seine kriechenden Stengel treibend, die, wo sich Gelegenheit dazu bietet, von neuem Wurzeln entsenden. An diese bescheidenen Existenzbedingungen gewöhnt, wird sie an ihrem natürlichen Standort nur wenig Konkurrenten zu fürchten haben, während sie auf tiefgründigen Boden, auf Acker usw. überwuchert werden würde. Es ist deshalb für sie von Bedeutung, daß ihre Samen möglichst wieder an ähnlichen Orten zur Entwicklung gelangen, wie die Mutterpflanze, also in Ritzen und Spalten der Felsen oder Mauern, in denen sich ja gewöhnlich auch so viel Boden findet, um dem zarten Pflänzchen die Entwicklung zu gestatten. Da dienen nun die eigentümlichen Krümmungen der Fruchtsiele dazu, die Früchte gleich an den richtigen Ort zu bringen. Die Fruchtsiele sind nicht nur positiv geotrop, sondern gleichzeitig auch negativ heliotrop, d. h. sie wenden sich nicht nur dem Mittelpunkt der Erde zu, sondern auch gleichzeitig vom Lichte weg, und dabei überwiegen die durch den Lichtreiz ausgelösten Bewegungen die durch die Schwerkraft ausgelösten. Der Fruchtsiel wird sich also in erster Linie vom Lichte fortwenden und erst wenn der Lichtreiz geringer geworden ist, sich abwärts wenden. Die Folge dieser Bewegungen ist dann, daß die Kapsel möglichst in den Schatten, in Ritzen und Spalten gedrückt wird, wobei sich die Kapselstiele oft auf 10, ja 15 cm verlängern, und erst dann, wenn eine Spalte erreicht ist, krümmt sich der Fruchtsiel direkt nach unten, um die Kapsel möglichst in die Erde selbst einzusenken, was hier allerdings meist ziemlich unvollkommen geschieht.

Am bekanntesten von allen geokarpen Pflanzen ist die brasilianische Erdnuß, *Arachis hypogaea*, die gegenwärtig in den Tropen wegen des Ölgehaltes ihrer Samen viel gebaut wird und sich auch überall in den Gewächshäusern unserer botanischen Gärten findet. Hier wächst nicht der Blütenstiel, sondern merkwürdigerweise der zwischen Kelch und Fruchtknoten befindliche Teil der Blütenachse zu einer enormen Länge von 10–15 cm aus und bohrt dabei den noch jungen Fruchtknoten in die Erde.

In die Erde gelangen übrigens manche Samen auf recht eigentümliche Weise. So werden z. B. die Samen von *Melampyrum pratense* von Ameisen eingeschleppt und unter die Erde gebracht, ohne daß sie sie verzehren. Man nimmt an, daß die Gestalt der Samen, die den Ameisenpuppen sehr ähnlich ist, dazu die Veranlassung ist und hat auch noch mancherlei andere Anzeichen zu entdecken ge-

glaubt, die darauf hindeuten, daß sich die Ameisen wirklich durch das Aussehen und vielleicht auch den Geruch der Samen täuschen lassen. So zeigen die Samen an der Chalazza eine dunkler gefärbte, sackförmige, mit Flüssigkeit gefüllte Grube, welche im Aussehen an den Exkrementensack der Ameisenpuppen erinnert und vielleicht auch ähnlich riecht, so daß die Ameisen hierdurch getäuscht werden. Denn Samen anderer *Melampyrum*arten, die diese Beschaffenheit nicht zeigen, werden auch nicht eingetragen.

In manchen Fällen werden die Samen von den Ameisen auch verschleppt, weil ihnen Teile der Samen, besonders die Nabelschwiele, Nahrung bieten, so besonders Samen des Schöllkrautes (*Chelidonium majus*), des Schneeglöckchens (*Galanthus nivalis*), der Haselwurz (*Asarum europaeum*). Die Nabelschwielen selbst werden verzehrt, während der übrige Teil des Samens nicht weiter angegriffen wird und auch unverletzt bleibt, so daß er seine Keimfähigkeit behält. Die Samen werden zum Teil bis in die Ameisenbaue selbst eingeschleppt und so unter die Erde gebracht, meist aber bloß eine Strecke weit fortgeschleppt und dann liegen gelassen, wodurch die Ameisen immerhin zur Verbreitung der Art beitragen.

Kurze Erwähnung mag zum Schluß des Abschnittes noch die Erscheinung der Heterokarpie finden. Es handelt sich dabei um die Entwicklung zweierlei verschiedener Fruchtformen an oberirdischen offenen Blüten derselben Pflanze, die verschiedenen Verbreitungsweisen angepaßt sind. Sie ist im allgemeinen nicht so verbreitet und bei einheimischen Pflanzen nicht sehr auffallend ausgebildet oder doch in ihrer Bedeutung noch nicht ganz sichergestellt. Meist handelt es sich um ausländische Korbblütler, deren Scheibenfrüchte Einrichtungen für die Verbreitung durch den Wind besitzen, die den Randfrüchten fehlen; erstere sorgen daher für eine weitere Verbreitung, letztere für die Erhaltung der Art am gleichen Standort.

D R I T T E R A B S C H N I T T

Spezielle Schutzeinrichtungen der Pflanzen

I. K A P I T E L

Erhaltung des Lebens bei ungünstigen Lebensbedingungen

DEN Kampf ums Dasein haben nicht nur Menschen und Tiere, sondern auch Pflanzen zu bestehen; es ist ein stummes Ringen vom Samenkorn an bis zur Fruchtreife gegen übermächtige Artgenossen, gegen tierische und pflanzliche Feinde der verschiedensten Art, gegen Hunger und Durst, Frost und Hitze, zu viel und zu wenig Licht, kurz gegen eine Menge Fährlichkeiten, die die gesunde Entwicklung oder sogar das Leben der Pflanze bedrohen. Dagegen sucht sich die Pflanze zu schützen, so gut es geht, und im Laufe der Zeit haben sich vielfach Einrichtungen herausgebildet, die einen mehr oder weniger wirksamen Schutz gegenüber bestimmten schädlichen Einwirkungen darstellen.

Andererseits haben sich aber auch Einrichtungen entwickelt, die nicht eigentlich Schutzmittel sind, sondern nur dazu dienen, die gegebenen Verhältnisse bestmöglich nutzbar zu machen. Das ist besonders der Fall in Gebieten mit eigenartig charakterisiertem Klima oder besonderen physikalisch-chemischen Eigenschaften des Bodens. Die Gruppe dieser Einrichtungen, die allerdings auch teilweise als Schutz gegen extreme klimatische Verhältnisse dienen, soll in dem folgenden Abschnitt besprochen werden. Die Pflanzen haben aber vielfach auch Schutzmittel erworben, die entweder nur einzelnen Gruppen zukommen, oder ganz allgemeiner Natur sind und keine Abhängigkeit von den Klimazonen der Erde zeigen, oder endlich sich gegen bestimmte, nur dem Individuum drohende Gefahren richten.

Zu diesen letzteren Gefahren gehört teilweise auch der Eintritt ungünstiger äußerer Lebensbedingungen, der je nach dem Standort manchen Pflanzen öfter, anderen seltener droht. Keine Pflanzengruppe aber wird wohl so häufig davon betroffen, wie die Bakterien. Sie siedeln sich ja überall an, wo sich Spuren zersetzbarer organischer Substanz, genügend Feuchtigkeit und Wärme finden, aber ebenso oft müssen sie plötzlich in ihrer Entwicklung aufhören, weil die ihnen nötige Feuchtigkeit verdunstet oder die Nahrung verbraucht ist. Sie trocknen vollständig ein und würden absterben, wenn sie nicht in verschiedenem

Grade die Fähigkeit besäßen, dieses Austrocknen ohne Schaden zu ertragen. Die Widerstandsfähigkeit gegen Austrocknung ist allerdings eine sehr ungleiche; ein großer Teil gerade der streng parasitischen Arten, der Influenzabazillus, der Pneumoniekokkus und viele andere vertragen gar keine Austrocknung und sterben sofort dabei ab. Die echten Fäulnisbakterien aber, deren Aufgabe es gerade ist, auch die kleinsten Mengen organischer Substanz zu zersetzen und dem Kreislauf der Stoffe wieder zugänglich zu machen, sind in dieser Beziehung weit besser ausgerüstet, sie können meist Tage, Wochen und Monate in völlig trockenem Zustande ihr Leben bewahren.

Bei manchen Bakterien kommt es außerdem auch noch zur Bildung besonderer Dauerformen, der Endosporen, welche eine fast unglaubliche Lebenszähigkeit besitzen. Sie bilden sich im Innern der Zellen als stark lichtbrechende, von einer äußerst widerstandsfähigen Membran umgebene rundliche oder elipsoidische Körperchen aus, und zwar normalerweise nur je eine in jeder vegetativen Zelle. Es ist also keine Vermehrung mit der Endosporenbildung verbunden, diese geschieht vielmehr im vegetativen Zustande, sondern es ist der Übergang in einen Zustand, in welchem das Leben der Pflanze bei den drohenden ungünstigen Lebensbedingungen erhalten bleibt. Denn die Sporen bilden sich, wenn irgendwelche ungünstige Verhältnisse für die Bakterien einzutreten beginnen, nicht als Abschluß einer Entwicklung, wie der Samen bei den Blütenpflanzen, sondern wenn die Nahrung verbraucht ist, oder die Feuchtigkeit verschwinden will, oder, und das ist die hauptsächlichste Veranlassung, wenn durch den Stoffwechselprozeß der Bakterien so viele ungünstig wirkende Verbindungen entstanden sind, daß die vegetative Entwicklung zum Stillstand kommt. Das ist z. B. in den Bakterienkulturen fast ausnahmslos der Fall. Züchtet man etwa den Milzbrandbazillus auf einem Nährsubstrat, welches aus Fleischbouillon, Gelatine, Pepton und etwas Kochsalz hergestellt und etwas alkalisch — durch Sodazusatz — gemacht wird, so entwickelt er sich einige Zeit vortrefflich und bildet große, weiße Kolonien, die allmählich den gallertigen Nährboden verflüssigen. Schließlich hört aber eine Zellvermehrung auf, und in den einzelnen Zellen der langen Fäden bilden sich Endosporen. Man kann aber den Prozeß der Endosporenbildung hintanhalten und eine lebhaftere vegetative Weiterentwicklung herbeiführen, wenn man vor Beginn der Sporenbildung neuen Nährboden hinzugefügt. Daß aber hier nicht der neue Vorrat an Nährstoffen die vegetative Weiterentwicklung allein bedingt, läßt sich einfach damit beweisen, daß eine gleiche Menge keimfreies destilliertes Wasser als Zusatz zum alten Nährboden, dem man nur etwa 0,5% Kochsalz zusetzt, um ungünstige osmotische Wirkungen zu verhüten, nahezu den gleichen Erfolg hat; es tritt von neuem Zellteilung ein und die Sporenbildung wird weiter hinausgeschoben.

Es ist also hier nur die Anhäufung der eigenen Stoffwechselprodukte, die eine weitere vegetative Entwicklung verhindert und die Bildung der Endosporen herbeiführt; durch das zugefügte Wasser werden die Stoffwechselprodukte verdünnt, und damit wird eine Weiterentwicklung in vegetativer Weise ermöglicht. Die eigenen Stoffwechselprodukte wirken ja stets schädlich; auch der Mensch könnte nicht in einer Atmosphäre leben, die allmählich die von ihm ausgeatmete

Kohlensäure ansammelte, auch wenn gleichzeitig genügend Sauerstoff vorhanden wäre, denn die Kohlensäure, also ein Stoffwechselprodukt des Menschen, wirkt schon bei einem Gehalt der Luft von wenigen Prozent giftig auf den Menschen ein.

Aber die Stoffwechselprodukte der einen Art sind oft nicht schädlich für eine andere, sondern vielleicht gerade ein Nährstoff; hat ein Bakterium abgewirtschaftet und sich in den Ruhestand der Sporenform begeben, so kommt vielleicht ein anderes daran, welches die Zersetzung weiter fortführt und auch die Stoffwechselprodukte der ersten Art mit zersetzt. Sind dann noch Nährstoffe und Feuchtigkeit genug vorhanden, so kann die erste Art wieder zu neuem Leben erwachen, die Sporen keimen und es tritt wieder eine Periode vegetativen Lebens ein. Die Zeitabschnitte zwischen zwei vegetativen Perioden sind aber naturgemäß sehr ungleich lang, sie können Wochen, Monate, aber auch Jahre dauern, und demgemäß ist auch die Lebensfähigkeit der Bakteriensporen meist nach Jahren noch vorhanden. In einzelnen Fällen haben über zehn Jahr in einem zugeschmolzenen Glasröhrchen eingetrocknete Sporen noch Lebensfähigkeit gehabt. Auch anderen schädlichen Einflüssen sind die Bakteriensporen in weit höherem Maße gewachsen als irgendwelche andere lebende Körper; sie halten hohe Hitzegrade aus und vermögen auch Giften zu widerstehen, die jedem andern Wesen den Tod sofort bringen würden. Durch Flüge sind aus Milch eine Anzahl Bakterien bekannt geworden, die in Milch selbst im Sporenzustande auch durch mehrstündiges Kochen nicht vernichtet werden konnten, und es ist bekannt, daß man Erde bei einer Temperatur von 100° C. überhaupt kaum von lebenden Keimen befreien kann, weil gerade ein Teil der Bodenbakterien so überaus widerstandsfähige Sporen besitzt. Während vegetative Zellen des Milzbrandbazillus durch fünfprozentige Karbolsäurelösung innerhalb weniger Sekunden getötet werden, bleiben die Sporen derselben Art in dem gleichen Desinfektionsmittel zum Teil wenigstens wochenlang am Leben.

Die Spore der Bakterien, die wir als das auffallendste Beispiel von Widerstandsfähigkeit gegen schädliche Einflüsse hier etwas ausführlicher besprochen haben, zeigt, solange die einer vegetativen Entwicklung hinderlichen Verhältnisse bestehen, keinerlei Lebenszeichen, sie wächst nicht, vermehrt sich nicht, und ihre Atmung ist jedenfalls auf ein Minimum beschränkt. Ganz ähnlich verhalten sich nun alle Organe, die gleichfalls dazu bestimmt sind, eine Ruheperiode durchzumachen, also viele Sporen von Kryptogamen, die man dann mit dem Namen Dauersporen kennzeichnet, die meisten Samen der Phanérogamen und auch mancherlei vegetative Zustände verschiedener Pflanzen. Dabei kann zunächst ganz von der regelmäßig wiederkehrenden periodischen Unterbrechung der Vegetation abgesehen werden, die in klimatischen Verhältnissen bedingt und eben eine regelmäßige Erscheinung ist.

Wenden wir uns wieder zu den Kryptogamen, so finden wir gar nicht selten verschiedene Formen von Fortpflanzungszellen, die teils geschlechtlich, teils ungeschlechtlich entstehen, und von denen ein Teil der Vermehrung und Ausbreitung der Art, ein anderer mehr der Erhaltung während ungünstiger Verhältnisse dient. Bei der Algengattung *Oedogonium* beispielsweise dienen die un-

geschlechtlich erzeugten Schwärmsporen dem ersteren; die geschlechtlich erzeugten Oosporen dem letzteren Zweck. Die Schwärmsporen sind kleine grüne Kügelchen, welche aus den Mutterzellen ausschlüpfen und sich durch einen Kranz von Wimpern im Wasser fortbewegen. Nach einiger Zeit setzen sie sich irgendwo fest und wachsen zu neuen Pflanzen heran; der ganze Vorgang vom Ausschlüpfen bis zum Festsetzen und bis zum Beginn der vegetativen Entwicklung dauert kaum einige Stunden. Die geschlechtlich erzeugten Oosporen sind unbeweglich, von einer derben Membran umgeben, reich an Reservestoffen; sie werden oft erst bei dem Zerfall der Pflanze frei, sinken zu Boden und machen über Winter

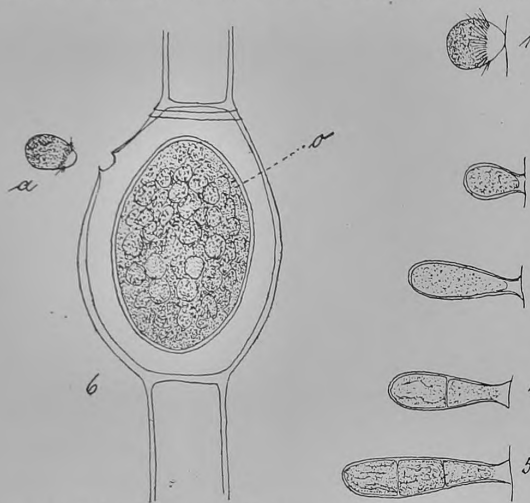


Fig. 79. *Oedogonium*. 1 Ungeschlechtliche Schwärmspore, im Begriff, sich festzusetzen. 2—5 Die aufeinanderfolgenden Entwicklungsstadien beim Auswachsen einer Schwärmspore zu einem Oedogoniumfaden. 6 Oogonium mit Dauerspore *o*, durch geschlechtliche Befruchtung entstanden, daneben links eine männliche Geschlechtszelle *a* (Spermatozoid). Stark vergrößert

eine Ruheperiode durch, um erst im Frühjahr zu keimen.

Verschiedene Sporenformen, und zwar in ziemlicher Anzahl, werden auch von den Rostpilzen gebildet, von denen eine Form, die Teleutosporen, zur Überwinterung bestimmt sind und also einen Dauerzustand darstellen. Aus diesen Teleutosporen keimt im Frühjahr die Basidie hervor, an welcher kleine Konidien, die Basidiosporen, entwickelt werden. Diese werden bei dem Getreiderost *Puccinia graminis*

vom Winde verweht, keimen nur auf den Blättern der Berberitze und rufen hier die bekannten orangegelben Anschwellungen hervor. Schon hier bildet der Pilz wieder zwei neue Sporenformen; auf der Unterseite entstehen in kleinen Bechern, den Aecidien, die Aecidiosporen, auf der Oberseite in noch kleineren Behältern, den Pykniden (Spermogonien), die Pyknosporen. Beide haben verschiedene Bedeutung; die ersteren keimen nur auf Gräsern und dienen daher der Übertragung des Pilzes auf einen neuen Wirt, die Pyknosporen dagegen scheinen der Weiterverbreitung des Pilzes auf der Berberitze selbst zu dienen¹. Sind die Aecidiosporen auf Gräser gelangt, so keimen sie, entwickeln ein Pilzmyzel in Stengeln und Blättern und bilden hier wieder zweierlei verschiedene Sporenformen aus, erst die Uredosporen, welche der Verbreitung des

¹ Das Keimen der Pyknosporen ist übrigens bisher nicht beobachtet und man neigt daher neuerdings vielfach der Ansicht zu, daß es sich um funktionslos gewordene Gebilde handelt.

Pilzes auf Gräsern dienen, später am Schluß der Entwicklungsperiode die Teleutosporen, die den Ruhezustand des Pilzes darstellen. Von den sechs verschiedenen Sporenformen der *Puccinia graminis* ist also nur eine einzige dazu bestimmt, eine Ruheperiode durchzumachen.

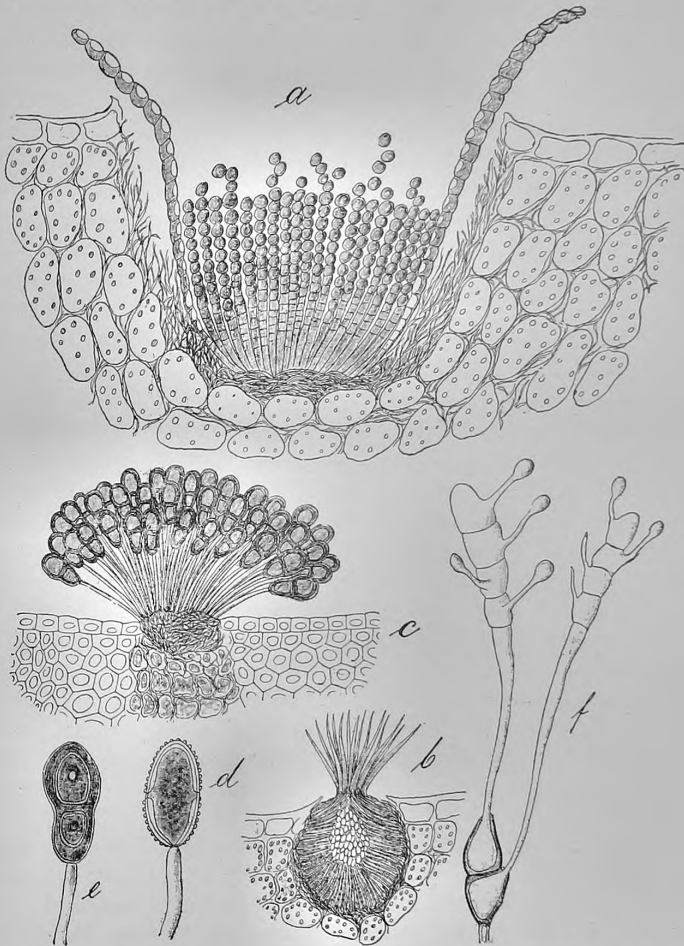


Fig. 80. Sporenformen der *Puccinia graminis*. *a* Querschnitt durch ein Aecidium auf *Berberis vulgaris* mit ausfallenden Aecidiosporen, *b* Schnitt durch ein Spermogonium, *c* Teleutosporenlager auf einem Getreidehalm (Schnitt), *d* Uredospore, *e* Teleutospore, *f* keimende Teleutospore. Stark vergrößert

Vergleicht man Sporen, die zu sofortiger Weiterentwicklung bestimmt sind, mit Dauersporen, so fällt sofort die wesentlich stärkere Ausbildung der Membran bei den letzteren auf. Dieselbe ist meist mehrmals dicker als bei den Sommer-sporen, wie man die gleich sich entwickelnden Sporenformen allgemein be-

zeichnen könnte; sie ist deshalb auch in weit höherem Grade befähigt, den eigentlichen lebendigen Inhalt zu schützen sowohl vor Austrocknung als auch vor dem Eindringen schädlicher Stoffe von außen. Dazu kommen noch mancherlei Eigenschaften, die die Undurchdringlichkeit der Membran erhöhen; sie ist z. B. für Wasser in manchen Fällen unbenetzbar, sie ist ferner oft mit Stacheln oder Borsten bekleidet, die sie vor dem Angriff verschiedener Feinde schützen. Aber auch der Inhalt ist ein anderer; in den Dauersporen sind viel mehr Reservestoffe aufgehäuft, dagegen ist die Wassermenge eine sehr geringe. Trockene, aber lebende Bakteriensporen enthalten beinahe wasserfreies Eiweiß. Es scheint, daß gerade der geringe Wassergehalt das Eiweiß besonders widerstandsfähig macht. Der größere Vorrat an Reservestoffen dient einmal als Vorrat für die erste, vielleicht noch unter wenig günstigen Verhältnissen vor sich gehende vegetative Entwicklung, dann aber auch zur Atmung während der Ruheperiode; denn wenn dieselbe auch in der Ruhezeit sehr zurücktritt, ganz verschwinden kann sie nicht, solange noch Leben vorhanden ist.

Ähnlich liegen auch die Verhältnisse bei den Samen der Blütenpflanzen; sie haben dieselben biologischen Aufgaben zu erfüllen wie die Sporen der Kryptogamen, sie dienen der Vermehrung, Verbreitung und Erhaltung der Art während Zeiten, wo deren vegetative Entwicklung beendet ist. Aber auch hier sind nicht immer alle Aufgaben zugleich erfüllt; viele Samen machen gar keine Ruheperiode durch, sondern keimen sofort nach dem Ausfallen. Im allgemeinen besitzen sie aber wenigstens die Fähigkeit, eine mehr oder weniger lange Ruheperiode durchzumachen und z. B. während dieser Zeit Trockenheit, Frost usw. zu überstehen, was die Pflanze im vegetativen Zustande nicht ertragen würde. Auch die Samen zeigen sich ähnlich ausgerüstet wie die Dauersporen der Kryptogamen. Eine mehr oder weniger dicke, widerstandsfähige Samenschale umgibt den allein lebenden inneren Teil, den Keimling mit den Keimblättern; die Zellen sind arm an Wasser, aber dafür um so reicher an Reservestoffen. Auch die Samenschale ist vielfach unbenetzbar für Wasser, sie oder die anhaftende Fruchtschale ist mit abschreckenden Stacheln oder Dornen versehen, enthält unangenehm riechende oder schmeckende oder giftige Stoffe, kurz ist ebenfalls gegen allerlei Schädlichkeiten geschützt.

Es sind aber nicht bloß Sporen und Samen, welche als Dauerzustände während schlechter Zeiten das Leben erhalten, sondern auch Brutknospen verschiedener Art, Knollen, Zwiebeln usw. dienen denselben Zwecken. In unserem Klima treten die mehrjährigen Pflanzen während der Winterszeit in eine Periode der vegetativen Ruhe, während in anderen Gebieten gerade während des Sommers ein Stillstand in der Entwicklung vorhanden ist. Diese Erscheinungen finden im nächsten Abschnitt eine eingehendere Besprechung. Dagegen mögen hier noch einige spezielle Fälle Erwähnung finden, wo die ganze vegetative Pflanze in einem Zustand sich befindet, der sie zu außergewöhnlicher Widerstandsfähigkeit, besonders gegen Austrocknung befähigt.

Bekannt ist, daß die kieselschaligen Algen, die Diatomeen, auch dann ihr Leben zu erhalten imstande sind, wenn die Regenpfütze, in der sie sich ent-

wickelt haben, austrocknet. Sie befinden sich dann in einem Stadium vegetativer Ruhe, vermehren sich nicht, assimilieren nicht, können aber längere Zeit am Leben bleiben, selbst wenn sie so trocken sind, daß sie in Staubform vom Winde fortgeführt werden. Untersucht man solche ausgetrocknete, aber noch lebende Diatomeen, so findet man, daß das Protoplasma, also der eigentliche Lebensträger in der Zelle, sich auf einen kleinen Raum zurückgezogen hat und von einer derben ausgeschiedenen Schicht umgeben ist, es hat eine „Encystierung“ stattgefunden. Auch hier ist das Eiweiß wasserärmer und damit widerstandsfähiger geworden, die Ausscheidung der derben Wandschicht schützt lange Zeit vor zu großer Wasserabgabe, und erst wenn wieder genügend Feuchtigkeit vorhanden ist, nimmt das Plasma Wasser auf, die Außenschicht wird gelöst, und die Zelle füllt sich wieder in gewöhnlicher Weise mit Zellinhalt. Die vegetativen Zellen vermögen also jederzeit in einen solchen Dauerzustand überzugehen, obgleich die Verhältnisse, unter denen eine solche Encystierung stattfindet, noch nicht hinreichend bekannt sind. Denn vielfach, namentlich in künstlichen Kulturen von Diatomeen, kommt es beim Austrocknen nicht zu einer Encystierung, sondern die Zellen sterben ab; die einzelnen Arten sind jedenfalls auch in sehr ungleichem Grade dazu befähigt.

Viele Pflanzen wachsen an so erdarmen exponierten Stellen, daß sie während einer heißen trockenen Periode unbedingt völlig austrocknen und zugrunde gehen müßten, wenn sie nicht dagegen unempfindlich wären. Das ist z. B. bei vielen Moosen und Flechten der Fall. Von den Moosen ist eine der gemeinsten Arten, *Ceratodon purpureus*, auf ganz trockenen dürrn Stellen, namentlich auch auf flachen Dächern überall anzutreffen. Wochenlang ist er in trockenen Sommern so dürr, daß er sich zwischen den Fingern zu Pulver zerreißen läßt, und doch stirbt er während dieser Zeit nicht ab. Untersucht man ein Blättchen dieses Moooses, in einem Tropfen Cedernholzöl eingeschlossen, unter dem Mikroskop, so findet man eine ähnliche Erscheinung wie bei den Diatomeen; das Plasma der Zelle hat sich zumeist in eine Ecke zurückgezogen, die äußere Schicht erscheint verhärtet und leistet denselben Dienst wie eine derbe Membran. Tritt Regen ein, so quillt die äußere Schicht wieder auf, das Plasma dehnt sich aus, soweit der Zellraum es gestattet, und die Pflanze nimmt ihre normalen Funktionen wieder auf. Das Moos kann lange Trockenperioden vertragen; es ruht während solcher Zeiten in der vegetativen Entwicklung vollständig, beginnt diese aber sofort wieder mit dem Eintritt feuchteren Wetters. Noch manche andere Moose verhalten sich ähnlich, während die Mehrzahl eine vollständige Austrocknung nicht verträgt. Arten, die in feuchten, schattigen Waldschluchten wachsen, sind sogar äußerst empfindlich gegen Trockenheit.

Noch mehr als die Moose leisten die meisten Flechten im Ertragen von Trockenheit. Viele Arten wachsen im glühenden Sonnenbrand an kahlen Felsen und sind während eines großen Teiles des Jahres pulverförmig trocken; ihnen genügen in der trockensten Zeit die geringen Mengen des in der Nacht fallenden Taues. Es ist dies um so auffallender, als der eine Komponent des Flechten-thallus, die Alge, eigentlich ein Wasserbewohner ist, und selbst da, wo Luftalgen

vorliegen, doch immer ziemlich stark Feuchtigkeit bedürftige Pflanzen am Aufbau des Flechtenthallus teilnehmen. Aber die Algenzellen selbst leiden eigentlich kaum unter der Trockenheit; sie sind meist so eng von einem Gewebe wasserführender Pilzfäden umgeben, daß ihnen immer noch Wasser genug zur Verfügung steht, auch, wenn die Sonne noch so intensiv brennt und den äußeren Teil des Flechtenthallus ausdörft. Dafür sind die äußeren Pilzhypphen des Flechtenthallus auch wieder überaus aufnahmefähig für Wasser; die geringste Menge Tau, die fällt, macht den Flechtenthallus lederartig weich, und das aufgenommene Wasser wird zur Auffüllung der inneren Reservoirs verwendet.

Auch unter den höheren Kryptogamen finden sich einige Arten, die merkwürdig lange die Austrocknung ertragen können. Am meisten leistet in dieser Hin-

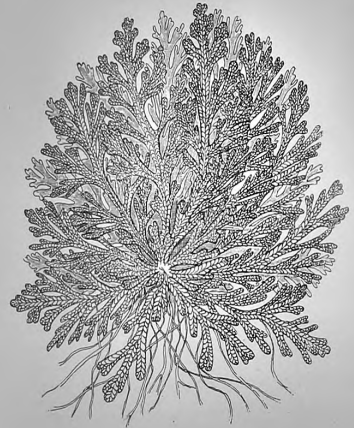


Fig. 81. *Selaginella lepidophylla*, rechts in feuchtem, links in trockenem Zustand. Natürliche Größe

sicht wohl *Selaginella lepidophylla*, ein Pflänzchen, dessen Sprosse sich bei Trockenheit einrollen, bei Feuchtigkeit flach ausbreiten. Sie ist in den trockenen Gebieten Mexikos heimisch, wo sie ja oft unter Wassermangel zu leiden hat. Dann rollt sie sich zusammen und tritt in einen Ruhezustand, der selbst jahrelang dauern kann. Es konnten aus Herbarien einzelne Exemplare noch zum Weiterwachsen gebracht werden, die schon elf Jahre zwischen den Papierbogen geruht hatten. Allerdings ist nicht das Aufrollen der Sprosse bei Befeuchtung für das Vorhandensein von Leben maßgebend, das ist vielmehr ein rein physikalischer Vorgang, den auch die toten Pflanzen noch zeigen und der auf der ungleichen Wasseraufnahme und damit ungleichen Schwellung der Gewebsschichten der Ober- und Unterseite der Sprosse beruht. Erst wenn wirklich eine vegetative Weiterentwicklung, ein Wachstum stattfindet, kann man von Erhaltung des Lebens sprechen.

Bei dieser *Selaginella lepidophylla* ist in den Zellen der Stengelrinde eine auffallend große Menge von fettem Öl enthalten, ebenso auch in den Blattparenchymzellen. Das fette Öl ist einerseits Reservestoff, andererseits aber auch ein hervorragendes Schutzmittel gegen zu große Verdunstung, weil das Öl den

Bei dieser *Selaginella lepidophylla* ist in den Zellen der Stengelrinde eine auffallend große Menge von fettem Öl enthalten, ebenso auch in den Blattparenchymzellen. Das fette Öl ist einerseits Reservestoff, andererseits aber auch ein hervorragendes Schutzmittel gegen zu große Verdunstung, weil das Öl den

Durchtritt von Wasserdämpfen nicht gestattet. Ähnliche Mengen von fettem Öl finden sich auch bei anderen Pflanzen, die sich in bezug auf ihre Widerstandsfähigkeit gegen Austrocknung der *Selaginella lepidophylla* nähern, z. B. *S. monogolica*, *S. borealis*, auch einige auf der Erde wachsende Arten von *Isoetes*. Alle diese Arten gehören schon zu jener Gruppe von Pflanzen, denen ein besonders trockenes Klima seinen Stempel aufgedrückt hat, und die deshalb erst in einem Kapitel des nächsten Abschnittes eine Besprechung finden sollten. Sie bilden aber auch gleichzeitig ein so typisches Beispiel für die Lebenszähigkeit einzelner Arten unter ungünstigen äußeren Verhältnissen, daß sie hier eine Erwähnung finden mußten.

II. KAPITEL

Schutzmittel der Pflanzen gegen parasitische Pilze

Ein sehr beträchtlicher Teil der Pilzarten lebt parasitisch auf höheren Pflanzen und schädigt diese mehr oder weniger stark, oft so sehr, daß die befallenen Pflanzen zugrunde gehen. Die Pflanzen sind diesen Parasiten gegenüber ziemlich wehrlos, aber einige Einrichtungen besitzen sie doch, die den Pilzen das Eindringen und Ausbreiten im Pflanzenkörper schwierig machen.

Die keimende Pilzspore stellt ein verhältnismäßig zartes kleines Gebilde dar, welches zunächst noch geringe Kraft zu entwickeln vermag und nicht überall durch die festen Membranen, mit welchen die Pflanzen umgeben sind, durchdringen kann. Je älter der Pflanzenteil ist, desto derber sind die Außenschichten der Epidermis ausgebildet und vor dem Eindringen parasitischer Pilze geschützt. Deshalb wird eine Infektion hauptsächlich an den jüngsten Teilen der Pflanze erfolgen, wo die Zellwände noch weich und wenig widerstandsfähig sind. Aber auch hier können die Keimfäden nicht aller Pilze die besonders zähe Kutikula durchbohren, sie wachsen so lange auf der Blattoberfläche hin, bis sie eine Öffnung finden, durch welche sie in das Innere des Gewebes dringen können.

Solche Öffnungen sind nun freilich an den krautartigen Pflanzen und den jüngeren Teilen der Holzgewächse reichlich in den Spaltöffnungen vorhanden; aber die Lage der Spaltöffnungen ist so, daß ein Eindringen der Pilzfäden nach Möglichkeit verhütet wird. Die Pilzsporen werden zumeist durch den Wind verbreitet, in einigen Fällen auch durch Insekten. Die vom Wind fortgeführte Spore wird an den aufrechten glatten Stengelteilen nicht haften, sondern abgleiten, hier ist also ein Eindringen von Pilzfäden durch die Spaltöffnungen weniger zu fürchten. Dagegen wird die Spore, wenn sie auf die mehr oder weniger waggericht ausgebreiteten Blätter fällt, liegen bleiben, und zwar natürlich auf der Oberseite derselben. Hier findet der aus der Spore austretende Keimschlauch aber keine Spaltöffnungen, denn die Blattoberseite ist in der Regel frei davon, er wird also, wenn er sich nicht durch die Epidermis einbohren kann einen sehr weiten Weg zurückzulegen haben, ehe er um den Rand des Blattes herumwächst und

auf die Unterseite gelangt, wo er Spaltöffnungen findet. Fällt die Spore nicht gerade nahe dem Rande auf, so wird der mitgebrachte Vorrat an Reservestoffen der Spore meist nicht ausreichen, um einen so langen Keimfaden auszubilden, und da dieser sich nicht selbständig ernähren kann, stirbt er schließlich ab. So geht es fortwährend einer großen Zahl keimender Pilzsporen.

Die meisten Pilze entwickeln allerdings außerordentliche Mengen von Sporen, so daß auch wenn viele Tausende zugrunde gehen, es doch immer noch der einen oder anderen glückt, an eine günstige Stelle zu gelangen und die Pflanze zu infizieren. Lügen aber die Spaltöffnungen auch auf der Oberseite der Blätter, so würde eine unendlich viel größere Zahl von Sporen zur Infektion gelangen, und die Pflanzen würden noch in weit höherem Maße unter Pilzkrankheiten zu leiden haben. Die Lage der Spaltöffnungen ist also tatsächlich ein sehr bedeutender Schutz gegen Infektion.

In manchen Fällen wirkt jedenfalls auch eine dichte Bekleidung mit Haaren oder Borsten schützend gegen Pilzinfektion. Die Pilzsporen werden dann vielfach trotz ihrer Kleinheit durch die Behaarung von der eigentlichen Blattoberfläche abgehalten, und da sie in ihrer Lage vielmehr von Luft umgeben sind, fehlt ihnen meist von vornherein die zum Keimen nötige Feuchtigkeit.

Auch bei den Pflanzen finden wir dieselbe Erscheinung wieder, wie bei den Infektionskrankheiten der Menschen und Tiere, daß sich die Parasiten vielfach an ganz bestimmte Arten angepaßt haben, d. h. daß sich eine Pilzart nur auf einer bestimmten Pflanzenart zu entwickeln vermag, nicht aber auf anderen, selbst nicht auf anderen Arten derselben Gattung. Die Pflanzen sind also empfänglich für Infektion mit bestimmten Pilzarten, verhalten sich aber immun gegenüber anderen. Ob diese Erscheinung ebenfalls darauf zurückzuführen ist, daß die Pflanzen gewisse, diesen oder jenen Pilzarten schädliche Schutzstoffe besitzen, wie dies bei Tieren der Fall ist, läßt sich zurzeit nicht entscheiden, da die Lehre von den Pflanzenkrankheiten sich mit diesem interessanten Gebiet noch nicht beschäftigt hat. Es ist aber nicht unwahrscheinlich, denn es sind zweifellos in vielen Pflanzen Stoffe enthalten, die auf Pilze ungünstig wirken, besonders viele Harze, Terpene und ähnliche Stoffe.

Harze, die Terpentine enthalten, wirken entschieden giftig auf die Pilze, namentlich auf die jungen noch wenig entwickelten Keimlinge der Sporen, sie vermögen auch noch in geringen Mengen die Keimung der Sporen zu verhindern. Deshalb ist das ausfließende Harz an den Wunden der Nadelbäume ein sicheres Schutzmittel gegen Pilzinfektion. Wir kennen eine große Anzahl von Pilzen, die als Wundinfektionspilze bezeichnet werden, weil sie nur von Wunden aus in den Pflanzenkörper gelangen können, dann aber auch in dem gesunden Teil der Pflanze fortwuchern. Gegen solche Parasiten ist der Harzfluß ein gutes Schutzmittel.

Zu den Wundinfektionspilzen gehören auch die meisten sogenannten Baumschwämme, der gemeine Feuerschwamm (*Polyporus vaporarius*, *igniarius* und viele andere). Die Infektion erfolgt nur von Wunden aus, denn die oft mächtige Borkenschicht der Stämme ist für die keimende Pilzspore undurchdringlich. Fällt

aber eine Spore solcher Pilze auf eine frische Wunde, so entwickelt sie sich sehr rasch, dringt in das Holzgewebe ein und zerstört dasselbe in kürzerer oder längerer Zeit. Dabei gibt es Pilze, die man eigentlich nicht einmal als Parasiten bezeichnen kann, weil sie gar nicht im noch lebenden Teil des Baumkörpers vegetieren, sondern nur im inneren, längst abgestorbenen Holzteil. Sie schaden aber der Pflanze trotzdem, indem sie den Zusammenhang des Holzes vernichten und dadurch dem Baume die Festigkeit rauben, so daß er leichter durch einen Sturm gebrochen wird und zugrunde geht. Es ist also für die Pflanze von Wichtigkeit, daß sie Wunden möglichst schnell ausheilt oder doch für Pilzinfektion unzugänglich macht.

Dies geschieht nun in verschiedener Weise. Bei den Nadelhölzern tritt schon bald nach der stattgehabten Verwundung, die etwa durch Sturm, durch starken Hagelschlag oder durch Wildverbiß erfolgt sein kann, ein ausgiebiger Harzfluß ein, der die Wunde, wenn sie nicht gar zu tief war, schließt. Harzgänge, die das Gewebe weit durchziehen, finden sich bei der Tanne nur in der Rinde, sie sind dafür aber sehr ergiebig, bei Fichte und Kiefer auch im Holz, doch ist das Harz in den älteren Teilen des Holzes verhärtet und fließt nicht mehr, im Splint und in der Rinde läuft es aber in die Wunde aus und drängt selbst aus weiter entlegenen Teilen des Stammes fortwährend nach. Das terpeninhaltige Harz verschließt nicht nur die Wunde und sperrt sie nach außen ab, sondern tötet auch junge Pilzvegetationen. Ist die Wunde aber tief und konnte sich ein Pilzkeim bereits so weit entwickeln, daß seine Fäden in die inneren, dem Harz unzugänglichen Holzschichten gelangten, so ist eine Infektion des Baumes erfolgt, auch wenn sich nachträglich die Wunde wieder schließt.

Bei Holzgewächsen, die kein Harz besitzen, findet ein vorläufiger Verschuß der Wunde häufig durch Gummiausfluß oder durch Wundkorkbildung statt. Pflanzengummi oder Wundgummi ist ein Körper von je nach der Art sehr verschiedener Beschaffenheit; auch der arabische Gummi von afrikanischen Akazienarten und der Kirschgummi unserer Prunusarten gehören hierher. Der ausfließende Gummi wirkt, an der Luft bald erhärtend, ebenfalls als ein Wundverschuß; vielleicht sind ihm auch noch Schutzstoffe beigemischt, die ungünstig auf die keimenden Sporen einwirken. Er ist aber gewöhnlich nicht imstande, größere Wunden rasch zu schließen und Infektionen zu verhindern, bei kleineren Wunden erfüllt er seinen Zweck ebenso wie ein Harzverschuß.

Die Wundkorkbildung tritt sehr bald nach der Verwundung ein, sie kann sich aber naturgemäß nur auf den noch lebenden Teil der Gewebe erstrecken, da es sich dabei ja um die Ausbildung neuer lebender Zellen handelt. Dicht unter den verwundeten und absterbenden Zellen tritt in den gesunden Zellen Zellteilung ein, es werden einige Schichten Zellen abgeschnitten, deren Wände verkorken und deren Inhalt verschwindet. Es bildet sich hier also eine Schicht, die ähnlich wie der Kork der Borke wirkt, denn Korkschichten sind im allgemeinen undurchdringlich für Pilzhyphen. Der gebildete Wundkork schützt wenigstens das noch lebende Gewebe des Baumes vor Pilzinfektion; um auch das abgestorbene zu

schützen, kommt es zu einer Neubildung, die von dem lebenden Teil ausgeht und allmählich die abgestorbenen Teile überzieht, ein Vorgang, den man als *Überwallung* bezeichnet hat, weil sich die Wundränder wallartig aufwerfen und allmählich nach der Mitte zu zusammenrücken. Die Überwallung ist eine



Fig. 82. Überwallter Ast im Längsschnitt. Natürliche Größe

vollständige Neubildung, die von dem lebenden Cambium ausgeht und zur Ausbildung des Wundholzes über dem durch die Wunde bloßgelegten Teil führt. Das Wundholz preßt sich dicht an die Wunde an und in die Vertiefungen ein, verwächst aber natürlich nicht mit den schon abgestorbenen Holzmassen. So überwallen beispielsweise Buchstaben und Figuren, welche in die Rinde bis auf den Splint eingeschnitten sind, und das neu entstandene Holz drückt sich in diese

Wunden ein, ohne mit dem alten Holz zu verwachsen, so daß man nicht selten dieses Wundholz beim Zerkleinern des Stammes wie ein Positiv von dem Negativ des ursprünglichen Einschnittes abheben kann.

Die Überwallung ist zwar der beste Schutz, den ein Baum gegen Wundinfektionen hat, aber sie braucht, namentlich bei großen Wunden eine beträchtliche Zeit, um die verletzte Stelle zu schließen und außerdem überwallen auch nicht alle Wunden vollständig. Die einzelnen Bäume zeigen sich übrigens hierin sehr verschieden. Bei der Edeltanne überwallen Schälwunden beispielsweise sehr gut und vollständig, bei der Kiefer weit schwerer. Auch die Buche zeigt ein bedeutendes Überwallungsvermögen, welches dadurch besonders auffällt, daß die Wundränder sich stark wulstig aufwerfen. Immer aber wird bei größeren Wunden bis zur Schließung derselben eine so lange Zeit vergangen sein, daß mancherlei Infektionen erfolgen konnten.

III. KAPITEL

Schutz der Pflanzen gegen Tierfraß

Noch mehr als unter den Angriffen der parasitischen Pilze haben die Pflanzen durch Tiere zu leiden, denn die gesamte Tierwelt lebt ja direkt oder indirekt von Pflanzen. Es ist deshalb auch kein Wunder, wenn sich allerlei Einrichtungen finden, die den Pflanzen Schutz gegen Tierfraß gewähren sollen; nur zum Teil gelingt es ihnen, denn der Hunger der Tiere will gestillt sein, und auch die Tiere haben sich teilweise wieder den Abwehrvorrichtungen der Pflanzen angepaßt.

Diese Schutzeinrichtungen der Pflanzen bestehen hauptsächlich aus einer lederartigen festen Beschaffenheit der vegetativen Teile, besonders der Blätter, aus einer Bewehrung mit Haaren, Stacheln, Dornen, Brennhaaren, aus dem Besitz unangenehm riechender oder schmeckender oder giftiger Stoffe und schließlich vielleicht auch in der äußeren Ähnlichkeit mit solchen von den Tieren gemiedenen Pflanzen. Dazu kommt dann auch noch ein Schutz, den schwer zugängliche Standorte verleihen, wie ihn die Epiphyten beispielsweise besitzen, oder wie ihn das Geselligkeitsleben wenigstens einem Teil der Individuen bietet.

Betrachtet man eine von Vieh regelmäßig beweidete Grasfläche, so wird man mancherlei Pflanzengruppen finden, die stehen geblieben und vom Vieh gar nicht beachtet worden sind. Dort steht ein Busch Wofsmilch, hier eine Brennesselansiedlung, drüben am Damm tauchen kleine Büschel des Hauhechel (*Ononis spinosa*) auf, die sich alle von dem kurzgefrassenen Rasen abheben. Alle drei haben für das Rindvieh unangenehme Eigenschaften; die Brennessel mit ihren lebhaftes Jucken verursachenden Brennhaaren, der Hauhechel mit den scharfen Dornen und die Wofsmilch mit ihrem schlecht schmeckenden und giftigen Milchsaff haben keinerlei Anziehungskraft für die Kühe. Auch ein Distelbusch wird

gemieden, während ein zufällig in der Nähe weidender Esel gerade ihm seine Aufmerksamkeit zuwendet; er ist gegen die Stacheln der Disteln, die von den Kühen gefürchtet werden, unempfindlich. Ebenso sehen wir bei näherer Betrachtung der Wolfsmilch, daß die großen lebhaft gezeichneten Raupen des Wolfsmilchschwärmers sich die milchhaltigen Blätter gutschmecken lassen, und der Brennesselstrauch sitzt voll von den schwarzen, dornigen Raupen des Tagpfauenauges. Also dasselbe Mittel, welches sich als guter Schutz gegen die eine Tierart bewährt, versagt gegenüber einer anderen.

Wenden wir uns den einzelnen Gruppen der Schutzmittel zu, so zeigt sich, daß Pflanzen mit derben, lederartigen Blättern entweder ganz gemieden oder doch weniger gern gefressen werden. So wird das Rindvieh, solange etwas anderes da ist, Heidelbeer- und Preiselbeerbüsche verschonen, ebenso die harten, steifen Blätter von Rohr, Schilf, Igelkolben, Schwertlilien und vielen Carexarten. Heu von „sauren“ Wiesen, also von Wiesen mit hauptsächlich Cyperaceen-vegetation wird von Pferden und Kühen ungern genommen. Das Rehwild, welches auf solchen Wiesen äst, sucht sich sorgfältig die wenigen Büschel süßer Gräser aus und läßt die harten Seggen stehen. Auch von vielen Insekten, die sonst so ziemlich alles fressen, was Pflanze heißt, Heuschrecken und manchen Käfern werden diese hartblättrigen Pflanzen verschmäht, so lange etwas Besseres zu haben ist. Deshalb ist die harte, lederartige Beschaffenheit vielfach ein guter Schutz, besonders gegen Weidetiere. Über manche Pflanzen liegen verschiedene Erfahrungen vor. Schachtelhalm gehört nach Erera zu den vom Weidevieh begehrten Pflanzen. Die harten, in Sümpfen und am Rande von Teichen wachsenden Arten (*E. limosum*, *palustre* u. a.) gehören jedenfalls nicht hierher, denn sie werden von Rindvieh überhaupt nicht angerührt, eher werden noch die dazwischenstehenden hartblättrigen Carexarten abgeweidet. Aber auch die reich verzweigten und verhältnismäßig weichen und feinen Büsche von *Equisetum silvaticum*, sowie die ähnlichen aber viel größeren von *E. Telmateja*, die in den Buschwäldern des südlichen Oberschlesiens häufig sind, werden von dem hier weidenden Vieh nicht beachtet, oder doch höchstens nur gelegentlich, denn man sieht diese Pflanzen immer unbeschädigt, während das Gras und andere Gewächse dazwischen abgeweidet sind. Die Not freilich wird auch hier manchmal zur Aufnahme von Pflanzen zwingen, die sonst verschmäht werden.

Pflanzen mit dichtem Haarüberzug oder mit rauen Borsten werden ebenfalls vom Weidevieh gemieden. So beispielsweise das dicht mit Borstenhaaren besetzte Klebkraut (*Galium Aparine*), verschiedene Borraginaceen, wie Natterkopf (*Echium vulgare*), Lungenkraut (*Pulmonaria officinalis*). Auch die Wollkrautarten (*Verbascum*), werden vom Vieh verschmäht, obgleich hier vielleicht außer dem Haarkleid auch noch der Geschmack eine Rolle spielt. Das gleiche gilt von den starkbehaarten Ziestarten (*Stachys germanica*, *silvatica*). Dagegen werden manche weichhaarigere Borraginaceen gelegentlich gern genommen, so vor allem die Vergißmeinnichtarten, Beinwell (*Symphytum officinale*). Alle Borraginaceen sind aber durch ihre rückwärts gewendeten Borsten vor Schnecken ge-

schützt, die nicht imstande sind, an den Stengeln in die Höhe zu kriechen, da sich die Borsten dabei in das weiche Fleisch der Schnecken einbohren und ihnen Schmerz bereiten.

Sehr verbreitet sind Dornen oder Stacheln als Schutzmittel, die der Natur der Sache nach ebenfalls hauptsächlich gegen größere Tiere gerichtet sind. Von den Umbelliferen besitzt *Eryngium* scharf mit Dornen bewehrte Blätter; wo diese schöne Pflanze vorkommt, wird sie, wenigstens von Pferden und Rindvieh sorgfältig gemieden, und auch der mit so hartem Gaumen ausgerüstete Esel dürfte den bis zolllangen Stacheln keinen besonderen Geschmack abgewinnen. Ebenso werden die meisten Disteln, besonders die gemeine Ackerdistel, *Cirsium arvense*, vom Weidevieh gemieden, während Erera gerade diese Distelart als begehrt bezeichnet. Aber die Beobachtung wurde von mir mehrfach gemacht, daß Stellen, an denen diese Distel sich in größerer Menge angesiedelt hatte, überhaupt gar nicht gern vom Vieh besucht wurden. Man sieht auch die Distelbüsche auf Weiden gewöhnlich intakt, wenn nicht Esel in Frage kommen, denn diese scheinen tatsächlich gerade für stachelige Pflanzen eine besondere Vorliebe zu haben, so daß sie selbst die so stachelige *Onopordon Acanthium* verzehren, die deshalb zu Ehren des unempfindlichen Vierfüßlers den Namen „Eseldistel“ erhalten hat.

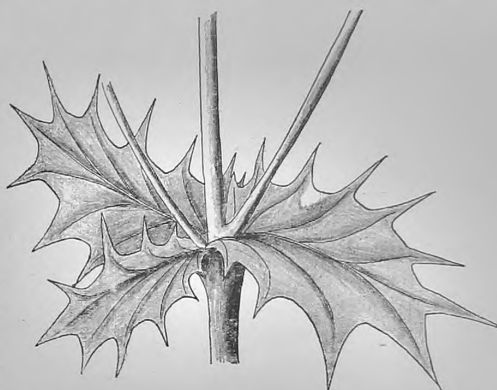


Fig. 85. *Eryngium maritimum*, stachelige Blätter als Schutz gegen Tierfraß. Natürliche Größe

Von dornigen Sträuchern oder Halbsträuchern wird ein Teil gemieden, so besonders Sauerdorn, die verschiedenen Hauhechelarten mit Dornen und ebenso die dornbewehrten Ginsterarten (*Genista germanica* und *anglica*), auch die Stechpalme (*Ilex aquifolium*), die außerdem durch ihre lederartigen Blätter an und für sich nicht sehr viel verlockendes für Weidevieh hat. Gemieden werden alle wilden Rosenarten, nur Ziegen versuchen sich zeitweise an ihnen, dagegen dienen die verwandten Rubusarten trotz ihres Stachelreichtums nicht nur dem Weidevieh, sondern auch dem Wild als Nahrung. Besonders die kriechenden Arten werden von den meisten Pflanzenfressern gern genommen, und im Winter bilden die Brombeeren mit immergrünen Blättern mit den wichtigsten Teil der Äsung des Rehwildes. Hier schützen also die für uns doch noch recht unangenehmen Stacheln durchaus nicht, und es ist deshalb wohl anzunehmen, daß der Grad des Wohlgeschmackes, den eine Pflanze für das Tier hat, sehr wesentlich mitbestimmend wirkt, ob sie gefressen wird oder nicht. Denn es werden selbst Sträucher gefressen, die nach menschlichen Begriffen sehr viel unangenehmer

bestachelt sind als die oben erwähnten gemiedenen Stachelpflanzen, z. B. *Ulex europaeus*, der Stechginster, der unter den einheimischen Arten wohl zu den stachlichsten gehört. Der Stechginster wird sogar in einigen Gegenden so gern



Fig. 84. *Ulex europaeus*. Zweig in natürlicher Größe

vom Vieh gefressen, daß er direkt als Futterpflanze gebaut wird. Es sind aber auch wieder Fälle bekannt, daß er vom Vieh völlig verschmäht wird, und daß deshalb der begonnene Anbau wieder aufgegeben wurde. Die Gewöhnung an eine Pflanzenart und die dabei erlangte Fähigkeit, die unangenehmen Eigenschaften

derselben möglichst unschädlich zu machen, spielen jedenfalls dabei eine wesentliche Rolle.

Der Schlehdorn mit seinen zwar vereinzelt, aber mächtigen Dornen zeigt überall Spuren des Verbeißen durch Weidvieh oder Wild, die jungen Triebe werden jedenfalls stets mitsamt dem Laub gern angenommen. Dagegen sind die älteren mit zahlreichen harten Zweigdornen ausgerüsteten Äste und Stämmchen vor Weidevieh sicher und werden deshalb auch mit Vorliebe als Dornenreisig um Stämmchen gebunden, um diese vor dem Schälen durch Vieh oder Wild zu schützen. Begeehrt sind auch die dornigen Sprossen des Kreuzdornes, *Rhamnus cathartica* und die stacheligen wilden Pirusarten, letztere besonders vom Rehwild gern an den jungen Trieben abgeäst.

Wenn man sich eine Pflanze denkt, die möglichst gut durch Stacheln geschützt ist, so wird man gewiß auf die verschiedenen Kaktusarten oder Fackeldisteln kommen, die in dieser Beziehung sicher am besten ausgerüstet sind. Sie brauchen aber diesen Schutz auch besonders nötig. Denn in ihrer Heimat, den regenarmen Hochländern Zentralamerikas, ist der Pflanzenwuchs beschränkt, und die pflanzenfressende Tierwelt ist wenig wählerisch. Pflanzen, die nicht gut gegen Tierfraß ausgerüstet sind, würden bald ausgerottet werden. Trotzdem verstehen es manche der dort lebenden Pflanzenfresser meisterhaft, einzelne Arten der Fackeldisteln von ihren Stacheln zu befreien und sich gut schmecken zu lassen; allerdings nimmt diese Arbeit immerhin eine ziemliche Zeit in Anspruch, und ohne Verwundungen geht es auch nicht ab, so daß die Tiere lieber irgendwelche andere Pflanzen nehmen, wenn solche vorhanden sind. Ein Schutz ist also auch dann noch vorhanden, denn die Kakteen werden eben nur im Notfall angerührt.

Die Wehrhaftigkeit mancher Kaktusarten wird in vielen Gegenden, wo sie gedeihen, dazu benutzt, lebende Zäune herzustellen; eine *Opuntia*-hecke gilt für Mensch und Tier als undurchdringlich, und selbst das sonst wenig zartfühlende Rindvieh respektiert solche stachelige Wände unbedingt.

Charakteristisch ist es, daß Pflanzen ganz anderer Familien, die unter ähnlichen Bedingungen wachsen, wie die Fackeldisteln Zentralamerikas, auch mitunter ganz ähnliche Schutzeinrichtungen zeigen, z. B. die Wolfsmilchgewächse der Carooformation Südafrikas. Auch die Ausbildung in anderer Hinsicht stimmt mit den Kakteen so sehr überein, daß man sie weit eher dieser Pflanzengruppe nach dem äußeren Eindruck zuzählen möchte, als sie für nahe Verwandte unserer cypressenblättrigen Wolfsmilch halten. Allerdings gibt es alle möglichen Zwischenformen von unseren gewöhnlichen beblätterten krautartigen Gewächsen bis zu den blattlosen, stacheligen Stammssukkulenten der afrikanischen Steppen. Die in den Gewächshäusern der botanischen Gärten vielfach gezogene *Euphorbia splendens* ist schon eine solche Mittelform; sie hat schon Stacheln, aber nur noch wenig kleine Blätter.

Für unser Gefühl erscheinen auch viele hartnadelige Nadelhölzer, wie die Fichte bis zu einem gewissen Grade schon stachelig, und beim Putzen des Weihnachtsbaumes haben die zarten Hände der Damen oft genug das Gefühl, von den Nadeln direkt gestochen zu werden. Und das ist auch der Fall, die feinen und harten

Nadelspitzen verletzen gelegentlich die Haut, was sich auf der letzteren späterhin durch zahlreiche rote Pünktchen bemerkbar macht. Gegen pflanzenfressende Tiere



Fig. 85 und Fig. 86. Gruppe von Weidfichten in den Allgäuer Alpen

ist diese Art Stachligkeit aber nicht der mindeste Schutz, denn gerade die Fichten werden nicht bloß von Ziegen, sondern auch von Rindvieh und Rotwild regelmäßig und zwar oft so stark verbissen und abgeweidet, daß die jungen Fichtenbüsche ein Aussehen gewinnen, als ob sie unter der Gartenschere gehalten würden.

Solche „Weidfichten“, in der Schweiz „Gaistannli“ genannt (Fig. 85 und 86), sind beispielsweise auf den Alpenweiden eine gewöhnliche Erscheinung, im Allgäu oft in vielen Tausenden gleichzeitig zu sehen, oft nur kugelige außerordentlich dichte Büsche, bei denen das regelmäßige Abweiden dieselbe Wirkung erzielt hat, wie die Gartenschere an einem aus jungen Fichten gebildeten lebenden Zaun. Durch das fortgesetzte Entfernen der Endknospen an Stamm und Ästen wird eine derartige Zweigwucherung hervorgerufen, daß die Büsche ein einziges dichtes Polster bilden. Ebenso findet man in Rotwildrevieren besonders an Wegen oder auf



Fig. 87. Durch Hochwild verbissene junge Fichte

Blößen einzelstehende junge Fichten in ganz ähnlicher Weise verbissen und verunstaltet, wie die Weidfichten der Alpenweiden. (Fig. 87.)

In den Steppenländern brauchen die Pflanzen, die eine etwas längere Lebenszeit besitzen, als die eigentliche ephemere Steppenflora, ebenfalls einen kräftigeren Schutz; je besser sie durch Stacheln oder Dornen geschützt sind, desto mehr werden ihnen andere, weniger gut bewehrte Pflanzen vorgezogen. So besitzen die namentlich in den asiatischen Steppen verbreiteten, sehr zahlreichen *Astragalus*-Arten reichliche Dornen; sie bilden oft zusammenhängende Felder, die von den Steppentieren gemieden werden. Gerade Wüsten- und Steppenpflanzen sind zum größeren Teil stachelig oder dornig; wo ohnehin spärliches Pflanzenleben vorhanden ist, sind die weniger gut geschützten Individuen bald verzehrt, und deshalb können sich nur Arten erhalten, die nicht so leicht zugänglich sind.

An die Pflanzen mit Dornen und Stacheln schließen sich die Arten mit Brennhaaren an, von denen wir in unserer Flora nur die Brennesseln als Vertreter besitzen. In den Tropen sind aber Pflanzen aus verschiedenen Familien mit solchen Brennhaaren versehen, besonders die Loasaceen. Die Brennhaare selbst bestehen meist aus einer unten bauchig erweiterten, nach oben in ein dünnes, langes Haar auslaufenden Zelle, deren Wände oben in dem haarförmigen Teil hart und spröde, unten weich und biegsam bleiben. Bei der Berührung eines Brennesselblattes wird der oberste knöpfchenartig verdickte Teil des Haares abgebrochen, und das spitze

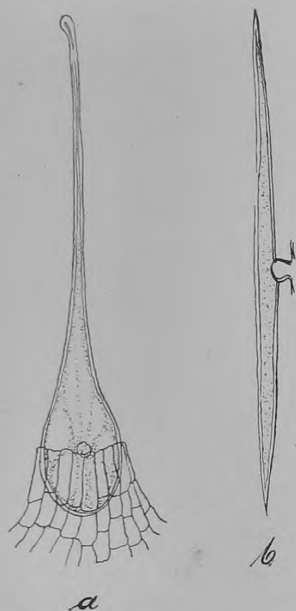


Fig. 88. Brennhaar. a von *Urtica urens*, b von *Malpighia urens*. Vergr.

Haar dringt in die Haut ein. Der Mechanismus des Brennhaares wirkt jetzt wie eine mit steifem Mundstück versehene Gummispritze; durch den Druck des Einstechens wird der steife haarartige Teil auf den weichwandigen bauchigen Teil gepreßt, und da das Haar jetzt oben geöffnet ist, wird der Inhalt durch die Öffnung heraus und in die Hautwunde gespritzt, wo durch chemische Verbindungen das oft höchst unangenehme, an das durch Ameisen hervorgerufene Gefühl erinnernde Brennen bewirkt wird. Man hat auch in der Tat lange Zeit angenommen, daß Ameisensäure die Ursache des Brenngefühls sei, zumal man in den Brennesseln auch Ameisensäure nachweisen konnte. Jetzt nimmt man an, daß der Inhalt des Brennhaares neben anderen Stoffen auch einen giftigen Eiweißkörper enthält, wie er beispielsweise ähnlich auch im Schlangengift, im Bienengift usw. enthalten ist, und wie er außerdem von den krankheitserregenden Bakterien produziert wird. Schon minimale Mengen solcher Stoffe können eine außerordentliche Wirkung haben; so kann das durch den Bacillus des Wundstarrkrampfes (*Bacillus Tetani*) erzeugte Gift

(Tetanustoxin) schon in Bruchteilen eines Milligrammes den Tod herbeiführen. Wäre nämlich Ameisensäure die alleinige Ursache der Brennwirkung, so müßte dieselbe in dem doch immerhin kleinen Haar in einer ganz konzentrierten Form enthalten sein, um eine so bedeutende Wirkung hervorzurufen; das erscheint aber aus physiologischen Gründen nicht möglich, da die Zelle lebendes Plasma, Zellkern usw. enthält, was neben einer so konzentrierten Säure kaum denkbar wäre. So verträgt sich die Tatsache einer starken Reizwirkung durch das kleine Brennhaar weit besser mit der Annahme eines Giftstoffes, der in minimalsten Mengen noch empfindlich auf das tierische Gewebe einwirkt, aber nicht so allgemein auf alle Körper wirkende Eigenschaften hat, wie eine starke Säure.

Übrigens sind unsere beiden Brennesselarten, *Urtica urens* und *dioica*, noch verhältnismäßig unschuldig gegenüber ihren tropischen Verwandten; in Java

kommt eine *Urtica stimulans* und in Indien *U. crenulata* vor, die schmerzhafte Blasenbildung auf der Haut und eine derartige Nervenenerregung hervorrufen können, daß mitunter schwere Krampfanfälle eintreten. Auf der Insel Timor kommt eine Art vor, *U. urentissima*, deren Giftwirkung sogar schon Todesfälle veranlaßt hat;



Fig. 89. *Cajophora lateritia*, eine Brennnpflanze

auch haben Personen, die sich an dieser schrecklichsten aller Brennnpflanzen verbrannt haben, oft jahrelang nachher noch schwer unter den Folgen zu leiden gehabt. Unter Umständen können aber auch unsere einheimischen Nesseln recht unangenehm werden, und zwar nicht nur für den Menschen, sondern auch für manche Tiere. In großartigster Entwicklung fand ich die Brennesseln in einigen Auenwäldern in der Gegend von Karlsruhe in Baden; hier bilden sie

in dem feuchten, aus Eschen, Erlen usw. bestehenden Mittelwald eine dichte, oft über manneshohe Bodendecke. Sie sind ein guter Schutz für das Revier, denn wer nicht notwendig dort zu tun hat, geht gewiß nicht hinein. Der Fasanen buschierende Jäger aber muß durch und sein Hund auch; der erstere kann sich durch dicke Handschuhe ziemlich schützen, der Hund aber ist hauptsächlich an den wenig behaarten Teilen des Bauches der Wirkung der Brennhaare schonungslos ausgesetzt und hat nach einer mehrstündigen Streife durch solche Brennesselwildnis böse zu leiden. Ich habe sehr passionierte und sonst sehr gute und folgsame Hunde gekannt, die, nachdem sie erst einmal wußten, daß gerade immer nach dem Besuch der Brennesselreviere das entsetzliche Jucken und Brennen kam, einfach versagten und nicht mehr vom Wege abzubringen waren. Manche allerdings kamen entweder nicht darauf oder waren zu pflichttreu, denn sie gingen immer wieder in das Brennesseldickicht, trotzdem sie sich nachher geberdeten, als ob sie auf einem Ameisenhaufen gelegen hätten, immer wieder plötzlich aufsprangen und sich wo anders hinlegten.

Die Wirkung der Brennhaare kann man auch mitunter an einigen schönblühenden Loasaceen unserer botanischen Gärten beobachten. Ein sehr zierliches, reich mit hübschen roten Blüten bedecktes, windendes Pflänzchen ist die viel in botanischen Gärten kultivierte *Cajophora lateritia*. Viele Besucher, die zur besseren Besichtigung die hängenden Blüten aufrichten oder vielleicht auch sich verbotenerweise ein Zweigchen abpflücken wollen, fassen die Pflanze ahnungslos an, aber gewöhnlich nur einmal, bei späteren Besuchen wird sie gänzlich unbeachtet gelassen.

Das ist aber schließlich die Aufgabe, welche die Brennhaare zu erfüllen haben, sie sollen alle ungebetenen Gäste fernhalten und bis zu einem hohen Grade wird dies auch von ihnen erreicht. Unsere Brennesseln bieten ein Beispiel dafür, kein Weidevieh, kein Wild rührt sie an. Selbst Pflanzen, welche der Brennessel ähnlich sehen, aber nicht brennen, die verschiedenen Taubnesselarten (*Lamium*), werden wohl eben dieser Ähnlichkeit mit der gefürchteten Brennpflanze wegen gemieden. Aber es gibt doch auch Tiere, die anscheinend unempfindlich gegen das Brennesselgift sind, besonders die Raupen mancher Schmetterlinge; die des Tagpfauenauges und des kleinen Fuchses leben hauptsächlich auf Brennesseln und verzehren die Blätter samt den Brennhaaren, es scheint also, daß das Gift den Raupen nicht schadet, wenn sie es vielleicht auch nur in den Verdauungskanal bekommen, weil die Brennhaare an der glatten, derben Raupenhaut abgleiten. Vom Darmkanal aus aber schaden bekanntlich viele Gifte nichts, die in Wunden sehr heftig wirken, z. B. Schlangengift. Noch merkwürdiger ist es, daß auch junge Gänse, die im Frühjahr mit Brennesseln gefüttert werden, gegen diese Pflanzen durchaus keine Abneigung zeigen. Sicher dringen doch wenigstens hin und wieder Brennhaare mit ihren Spitzen in die zarten Schleimhäute von Gaumen, Zunge oder Kehlkopf, aber sie scheinen bei den Gänsen keinerlei Wirkung auszuüben.

Wesentlich verschieden gestaltet sind die Brennhaare der tropischen, zu den schönsten Lianen zählenden *Malpighiaceen*, von denen eine, *Malpighia urens*,

ihren Namen von der ihr anhaftenden unangenehmen Eigenschaft erhalten hat. Die Haare sind ebenfalls einzellig, aber einfache, parallel der Blattfläche auf kurzem Stiele stehende zweispitzige Nadeln von ziemlicher Härte. Sie wirken nicht beim Berühren des Blattes, aber sie stechen sich beim Verzehren durch pflanzenfressende Tiere in die Schleimhäute des Mundes ein und rufen heftige, schmerzhaftige Entzündungen hervor. Die Tiere lernen solche Pflanzen bald kennen und lassen sie in Ruhe. Aber auch dem nicht an ihren Genuß denkenden Menschen können sie sich in höchst unliebsamer Weise bemerkbar machen. Wird eine ältere Pflanze auch nur leicht angestoßen, so senkt sich ein feiner Regen der Nadeln herab und bohrt sich in die Haut ein, ja die Kleidungsstücke, die einmal einen solchen Regen durchgemacht haben, lassen auch später noch von Zeit zu Zeit einzelne der aufgenommenen und zurückgehaltenen Brennhaare in die Haut gelangen. Das Brennen wird übrigens hier wahrscheinlich mehr durch die Verwundung selbst und die dann eintretende kleine Entzündung, als durch Giftstoffe bewirkt.

Über wie ganz verschiedene Familien das Vorkommen von Brennhaaren verbreitet ist, mag man daraus ersehen, daß auch noch eine *Hydrophyllidaceae* *Wigandia urens*, und einige *Euphorbiaceen*, aus der Gattung *Jatropha*, solche besitzen. Bei der in Venezuela heimischen *Jatropha urens* soll die Wirkung eine so heftige und betäubende sein, daß Personen durch die Berührung der Pflanze ohnmächtig wurden. Andererseits gibt es in Familien, die fast ausschließlich Brennpflanzen aufweisen, auch wieder eine große Anzahl, die keine Brennhaare besitzen, so unter den *Urticaceen* die Gattung *Parietaria*, Glaskraut und der Hopfen, *Humulus Lupulus*; der letztere hat dafür steife Borsten, die ihm ebenfalls einen gewissen Schutz verleihen, und das Glaskraut zeigt eine große Schutzähnlichkeit mit der Brennessel.

An die Pflanzen mit Brennhaaren reihen sich jene Arten, die in ihrem Gewebe Stoffe enthalten, welche den Tieren unangenehm oder schädlich sind. Zunächst sind es vielfach nur widerwärtige Gerüche, welche die Tiere fernhalten, wobei allerdings die Geschmacksrichtung der Tiere auffallend verschieden ist. Für den Baldrian, der uns Menschen und auch den Hunden einen durchaus nicht angenehmen Geruch hat, schwärmen die Katzen bekanntlich in hervorragendem Maße; es ist Tatsache, daß sich in manchen von Katzen reich besuchten Gärten kein Baldrian aufbringen läßt, weil sich die Katzen derart in ihm herumwälzen, daß jeder neue Sproß sofort wieder umgeknickt wird. Ähnliche Vorliebe haben sie für manche andere stark riechenden Gewächse, z. B. für Pfefferkraut und Katzenminze.

Gewöhnlich sind es ätherische Öle, die den Pflanzen den für Weidetiere unangenehmen Geruch verschaffen. Dahin gehört die Mehrzahl der scharf riechenden Lippenblütler, Salbei, Quendel, die Minzenarten und viele andere. Auch unter den Umbelliferen sind zahlreiche Arten, die von den Weidetieren verschmäht werden, andere recht scharf riechende werden gern genommen.

Neben den durch den Geruch abschreckenden Stoffen sind es dann bitter oder widerlich schmeckende oder giftige Stoffe, die in den Pflanzen

enthalten sind. Bitteren Geschmack haben z. B. das Tausendgüldenkraut (*Erythraea Centaureum*), das Leinkraut (*Linaria vulgaris*), *Arnica montana*, die bekannte Wohlverleih, sie werden gemieden, während eine Anzahl anderer, sogar recht bitter schmeckender Pflanzen, z. B. der Löwenzahn (*Taraxacum officinale*), Reinweide (*Ligustrum vulgare*) sehr gern genommen werden; es sind also jedenfalls nicht immer bittere Pflanzen geschützt, und es werden wohl auch noch andere, uns unbekannte Faktoren dabei im Spiele sein.

Giftwirkungen zeigen vor allen Dingen die Pflanzen, welche Alkaloide oder Glykoside enthalten; zu den ersteren gehören viele Nachtschattengewächse, Tollkirsche, Tabak, Bilsenkraut, Stechapfel, Nachtschatten, ferner einige Hahnenfußgewächse, wie die gerade auf feuchten Weiden häufige Sumpfdotterblume, *Caltha palustris*, die Eisenhutarten und einige giftige Hahnenfußarten selbst; die Herbstzeitlose, verschiedene Umbelliferen, zu denen auch die bekannten Giftpflanzen

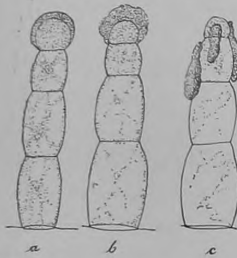


Fig. 90. Drüsenhaare von *Primula obconica*. a—c aufeinanderfolgende Entwicklungsstadien (vgl. Text). Vergrößert etwa 150 mal

Schierling und Wasserschierling gehören. Auch die Eibe enthält ein heftig wirkendes Gift, welches für Menschen und Pferde gefährlich ist, Wiederkäuern aber anscheinend nicht schadet. Der Goldregen (*Cytisus Laburnum*) ist für Menschen sehr giftig, für Kühe anscheinend nicht oder nur in geringem Grade; er wird wenigstens gern gefressen.

Unter den mit giftigen Glykosiden ausgerüsteten Pflanzen sind besonders die Nieswurzelarten, *Helleborus foetidus* und *viridis*, ferner der sehr giftige rote Fingerhut, *Digitalis purpurea*, verschiedene Nachtschattenarten, so *Solanum Dulcamara*, *nigrum* und *tuberosum*, die Kartoffel, zu erwähnen; sie werden sämtlich gemieden. Die jungen Kartoffelkeime, die sich im Frühjahr an den im Keller aufbewahrten Kartoffeln einstellen, sind schon wiederholt die Todesursache von Schweinen gewesen, denen sie aus Unwissenheit, anderem Futter beigemischt, gegeben wurden.

Eine eigentümliche Giftwirkung zeigen einige als Zimmerpflanzen vielfach gezogene Primelarten, besonders *Primula obconica* und *Pr. sinensis*. Sie rufen beide, wenn man ohne Handschuhe mit ihnen hantiert, eine sehr lästige, mit heftigem Juckreiz verbundene und lange währende Erkrankung der Haut hervor; mitunter entstehen weitgreifende Entzündungen, die erst nach vielen Monaten heilen.

Obwohl man schon am Ende des vorigen Jahrhunderts die Beobachtung von der Wirkung der *Primula obconica* auf die bloße Haut gemacht hat, ist die Kenntnis dieser Tatsache unter den Blumenliebhabern noch immer sehr wenig verbreitet und ich habe selbst in neuester Zeit noch mehrfach derartige, oft recht langwierige Erkrankungen gesehen. Die Patienten lächelten gewöhnlich ungläubig zu meiner Erklärung, gaben aber auf mein Befragen zu, daß sie öfter mit *Primula obconica* zu tun hätten. Diejenigen, die meinem Rate folgten und die Pflanze nur mit Handschuhen berührten, verloren die als Dermatitis bezeichnete Krankheit nach einigen Wochen.

Bei *Primula obconica* sind es mehrzellige, sehr weiche Drüsenhaare mit stumpfer Endzelle, die das offenbar sehr heftig wirkende Gift erzeugen; ein Eindringen der Haare in die Haut beim Berühren ist nach der Art ihres Baues gänzlich ausgeschlossen. Das Gift muß also auf die unverletzte Haut wirken. Es wird als gelbliche Masse unter der Oberhaut der Endzelle des Haares abgeschieden (Fig. 90), hebt diese blasenförmig von der Zelle ab (a), sprengt sie schließlich (b) und läuft dann an den Haaren herab oder bleibt in einzelnen Fetzen oder Tropfen an ihnen hängen (c). Nestler, der sich eingehend mit den Wirkungen der Primelhaare beschäftigt hat, konnte mit dem von der Pflanze und den Drüsenhaaren losgelösten Giftstoffe an sich selbst die gleiche Erkrankung der Haut erzeugen, wie durch die Berührung mit der Pflanze selbst. Da die Giftwirkung erst Stunden oder selbst Tage nach der Berührung bemerkbar wird, so würde der Schutz, den sie gegen Tierfraß verleiht, ein sehr zweifelhafter sein, wenn nicht gleichzeitig eine unangenehme Geschmackswirkung damit verbunden ist.

Daß solche Gifte ein sehr wirksames Schutzmittel sind, liegt auf der Hand; nicht immer leicht ist aber die Erklärung dafür, daß die Giftpflanzen sofort von den Tieren gemieden werden, wahrscheinlich geschieht dies durch den unangenehmen Geruch oder Geschmack, der schon beim ersten Kauen jeden weiteren Appetit unterdrückt. Das ist zwar nicht immer der Fall; Pferde fressen von der Eibe so viel, daß sie daran eingehen.

V I E R T E R A B S C H N I T T

Anpassung der Pflanzen an Klima und Boden

I. KAPITEL

Variabilität der Anpassungserscheinungen

DIE Pflanzen finden auf dem von ihnen bewohnten Teil der Erde sehr ungleiche Verhältnisse. Temperatur, Licht, Niederschläge, Luft- und Bodenfeuchtigkeit, Wind sind an den verschiedenen Punkten der Erde durchaus verschieden, und ebensolche Ungleichheit zeigt auch die chemische und physikalische Beschaffenheit des Bodens. Diese Mannigfaltigkeit der äußeren Lebensverhältnisse hat aber bei der Reaktionsfähigkeit der Pflanzen eine entsprechende Mannigfaltigkeit der äußeren und inneren Ausbildung zur Folge, so daß der große Formenreichtum im Pflanzenreich zu einem wesentlichen Teil durch Klima und Boden bedingt ist.

Es fällt dabei vielfach die eigentümliche Erscheinung auf, daß in ganz verschiedenen Pflanzenfamilien durch gleiche äußere Lebensbedingungen eine überraschende Ähnlichkeit der äußeren, von den übrigen Pflanzengestalten abweichenden Form herbeigeführt werden kann. So ähneln viele Wolfsmilchgewächse des Kaplandes in der äußeren Form vollkommen den in Zentralamerika heimischen Kakteen, und man würde, wenn man die Blütenverhältnisse nicht berücksichtigt, kaum geneigt sein, diese Kapwolfsmilcharten als Verwandte unserer zypressenblättrigen Wolfsmilch anzusehen. Beide Pflanzenfamilien aber leben unter ähnlichem trockenem Klima mit heißen Tagen und kalten Nächten, und beide haben sich in gleicher Weise durch Reduktion der Blätter zu Stacheln und Anschwellung des Stammes der gleichzeitig zum Assimilationsorgan wird, den Eigentümlichkeiten ihrer Heimat angepaßt.

Das ist aber nicht immer der Fall. Wir finden im Gegenteil gar nicht selten, daß selbst von Pflanzen derselben Familie, ja sogar derselben Gattung, dieselbe Aufgabe, die ihnen durch klimatische Verhältnisse erwächst, in ganz verschiedener Weise gelöst ist. Zum Schutz gegen zu starke Verdunstung verstecken die Blätter der einen Pflanzenart ihre Spaltöffnungen unter einem mehr oder weniger dichten Haarfilz, die einer andern rollen sich so ein, daß die Spaltöffnungen nicht direkt von den austrocknenden Winden berührt werden können, die einer dritten



Beginnende Einwirkung des Windes an jungen Kiefern



tragen einen Wachsüberzug; ja manche wenden mehrere Schutzmittel zugleich an. Und sehr oft finden sich diese Schutzmittel alle zusammen, wenn auch auf verschiedene Arten verteilt, auf ein und demselben eng begrenzten Standort. Es ist keine schematische Vorschrift, der die Pflanzen bei der Ausbildung ihrer Schutzmittel gefolgt sind, sondern eine freie Entwicklung infolge des spezifischen Reaktionsvermögens der einzelnen Arten, die auf den gleichen Reiz mit so ungleicher äußerer Entwicklung geantwortet haben.

II. KAPITEL

Der Einfluß des Windes

In jedem Lande, dessen Luftströmungen vorherrschend in bestimmten Richtungen verlaufen, läßt sich diese Richtung meist ohne Schwierigkeit an der Gestalt der Bäume, besonders einzelner freistehender, erkennen. Gewöhnlich sind die Äste, die gegen den Wind gerichtet sind, kürzer, gebogener, die der entgegengesetzten Seite verlängert, mehr gerade, und die der beiden Seiten mehr oder weniger stark vom Winde abgekehrt. In der Ebene treten diese Merkmale weniger stark hervor als im Gebirge, besonders auf dem Wind ausgesetzten Bergkuppen, im geschlossenen Bestand weniger, als bei einzelnen Bäumen oder am Waldrande an exponierten Stellen.

In unseren Gegenden mit vorherrschend westlichen Winden findet man deshalb auch stets die Westseite mit kürzeren, mehr knorrigen, die Ostseite mit längeren und schlankeren Ästen. Auch die Stämme sind nicht selten nach Osten geneigt, und besonders an den Wipfeln der höheren Bäume zeigt sich eine verschiedene Orientierung nach der Windrichtung. Je höher man im Gebirge steigt, desto deutlicher werden, wenigstens an freien, dem Wind ausgesetzten Stellen diese Merkmale; die auf der Westseite entwickelten Zweige biegen sich mit ihren Spitzen oft vollständig nach Osten um und bieten auch bei völliger Windstille das Bild eines vom Wind gepeitschten Baumes, weshalb man diese durch die Windwirkung beeinflusste Baumgestalt auch als „windgepeitscht“ bezeichnet. Solche Formen sind im Gebirge auf öden einsamen Flächen sehr häufig und gehen in höheren, noch mehr dem Wind exponierten Lagen in „windgescherte“ Formen über. Bei diesen ist die Wirkung des Windes so stark, daß sich die dem Wind entgegenstehenden Zweige nur noch mangelhaft entwickeln und oft bald abgerissen werden oder verkümmern. Auch die seitlichen Zweige haben dasselbe Schicksal, oder sie krümmen sich schon dicht an ihrer Basis vollständig nach der vom Winde abgelegenen Seite, so daß tatsächlich nur diese beästet erscheint. Der Baum macht dann den Eindruck, als wären die Äste auf drei Seiten mit der Schere abgeschnitten worden, eine Erscheinung, die man besonders an der Grenze des Baumwuchses in unseren Gebirgen ebenfalls nicht selten antrifft. Sowohl bei den windgepeitschten als bei den windgescherten Bäumen tritt eine oft weit-

gehende Verkrüppelung der typischen Baumform ein, namentlich die letzteren zeigen am Wipfel stets irgendwelche Defekte. Der Höhenwuchs wird merklich gehemmt, nicht nur weil die Wipfel immer wieder abbrechen, sondern weil der Wind die Pflanzen überhaupt niederhält.

Das zeigt sich besonders am flachen Seestrände und den niedrigen im Meere liegenden Inseln, die schutzlos der vollen Gewalt der Stürme preisgegeben sind. Hier wird der Sturm nirgends aufgehalten; über weite Flächen fegt er ohne Widerstand zu finden, sich zu brechen, und deshalb ist seine Macht weit größer als im Binnenlande, sein formbestimmender Einfluß auf die Pflanzenwelt weit auffallender, als selbst auf den höchsten Gipfeln bewaldeter Gebirge.



Fig. 91. Windgescherte Fichten bei Berchtesgaden

Unsere Nordseeinseln ganz besonders sind den starken und fast ausnahmslos aus westlichen Richtungen wehenden Winden in höchstem Grade ausgesetzt, und wir finden deshalb hier auch eine ganz eigenartige Pflanzenformation. Aufrechte hohe Bäume duldet der Wind nicht, er knickt sie um oder zwingt sie, sich beizeiten in eine solche Lage zum Winde zu bringen, daß dieser ihnen nicht mehr viel anhaben kann; sie werden zu kriechenden Gewächsen. Selbst innerhalb der Ortschaften richten sich die Bäume nur so weit auf, als sie Schutz durch Mauern und Gebäude haben, dann brechen die Wipfel ab oder biegen sich in bizarren Formen vom Winde ab. Der Wind bestimmt hier in hervorragender Weise die Pflanzenformen. Was an Holzpflanzen auf den Inseln vorkommt, sind Sträucher oder niedrig am Boden hinkriechende Stämme, die der ganzen Vegetation der Inseln einen durchaus eigenartigen Charakter verleihen.

Nur teilweise handelt es sich übrigens bei diesen Windwirkungen um Anpassungen, und diese Anpassungen sind selbst wieder meist nur individueller und nicht erblicher Natur. Aus dem Samen von windgescherzten Fichten, wo sie überhaupt solchen ausbilden, entstehen wieder vollkommen normale Formen, bis sie wieder der gleichen Wirkung des Windes ausgesetzt werden. Und die Umbildung der Pflanzengestalt unter der Einwirkung des Windes ist zum Teil ein pathologischer Prozeß. Der Wind knickt Äste ein oder bricht sie ab, verletzt also die Pflanze, und diese, hauptsächlich auf der Windseite entstehenden Verletzungen tragen sehr viel zu dem eigenartigen Habitus bei. Aber zum Teil sind es doch auch Wachstumserscheinungen, die als Reaktion auf die mechanischen Druck- und Zugreize die der Wind hervorbringt, aufzufassen sind.

Die Wachstumsenergie der Pflanze ist nach allen Richtungen hin gleich; sie wird aber auf der dem Winde zugekehrten Seite durch den fortgesetzten Winddruck zum Teil gehemmt, die Zweige bleiben in einem der entgegengerichteten Kraft des Windes entsprechenden Weise kürzer. Nach der vom Winde abgekehrten Seite wirkt dieser als Zugkraft; seine Kraft kommt zu der Wachstumsenergie hinzu und bewirkt eine Verlängerung der Zweige. Auch die Seitenzweige erleiden unter dem Druck des Windes Krümmungen; sie werden fortgesetzt vom Winde abgebogen, die Zellen auf der Windseite werden gedehnt, und wenn die



Fig. 92. Wetterarve aus dem Engadin (Hahnensee)

Dehnung während der Zeit ihrer Entwicklung erfolgt, so werden sie nach der Ausbildung der inneren Verdickungsschichten auch nach dem Aufhören des Winddruckes ihre Verlängerung beibehalten. Dadurch wird natürlich der Zweig nach der Richtung gebogen, in welcher eine solche Dehnung nicht stattfand, also nach der vom Wind abgekehrten Seite.

Die Wirkung des Windes ist also im wesentlichen eine rein mechanische; daß sie in der Biologie eine kurze Besprechung findet, hat seinen Grund in der merkwürdigen Gestaltung der äußeren Form, welche die Pflanzen oft ganzer Gebiete durch den Wind erhalten. So sind namentlich Bäume in der Nähe der Baumgrenze



Fig. 93. Fichten in der Nähe der Baumgrenze bei Berchtesgaden

selten normal ausgebildet; durch die Gewalt des Windes, durch Schneedruck, Rauheif, Hagel arbeitet die Wetterungunst fortwährend ändernd an dem Wuchse des Baumes und ruft oft die merkwürdigsten Zerrformen hervor. (Fig. 93 und 94.)

Bei Wasserpflanzen sehen wir nicht selten die äußere Gestalt durch die Gewalt der Strömung in ganz ähnlicher Weise beeinflußt, die ja noch viel gleichmäßiger und viel intensiver wirkt, als der Wind. Deshalb wachsen die Pflanzen überhaupt nicht der Strömung entgegen, sondern immer mit derselben und werden im allgemeinen infolge der Zugwirkung um so länger, je rascher die Strömung ist. Besonders fällt dies an Wasserpflanzen auf, die auch in tieferem Wasser eine bestimmte obere Grenze nicht wesentlich überschreiten. Eine der verbreitetsten Armeleuchterarten, *Chara fragilis*, wird selten über 40 cm lang; in dem rasch fließenden „Floßgraben“ bei Breslau kamen dagegen Stengel zwischen 100 und

160 cm Länge vor, eine Länge, die überhaupt keine Characee erreicht, wenn eben nicht besondere äußere Verhältnisse dies bedingen.



Fig. 94. Fichten in der Nähe der Baumgrenze bei Berchtesgaden

III. KAPITEL

Anpassung der Pflanzen an bestimmte Medien

Die Mehrzahl der höheren Gewächse sind Landpflanzen, und nur ein kleinerer Teil wird zu den Wasserpflanzen gerechnet. Unter letzteren gibt es wieder solche, die mit allen ihren Organen im Wasser leben, andere, die wenigstens ihre Wurzeln in den schlammigen Grund der Gewässer treiben, andere, die mit einem Teil ihres Körpers, besonders mit den Blüten über Wasser, in der Luft stehen. Schließlich gibt es viele Wasserpflanzen, die mit ihren Wurzeln im Schlamm, mit ihrem Stamm und einem Teil der Blätter im Wasser, und mit einem andern Teil der Blätter und mit den Blüten in der Luft stehen, die also in allen drei Medien sich entwickeln.

Bei den Landpflanzen wachsen die Wurzeln wieder meist im Erdboden, der

übrige Teil erhebt sich in der Luft; das Wasser ist ausgeschaltet. Es gibt aber auch nicht wenige Gewächse, bei denen auch die Wurzeln nicht in den Erdboden dringen, sondern dazu bestimmt sind, als Klammerorgane sich in Rindenritzen anderer Pflanzen einzudrängen und die Pflanze da zu verankern. Hier würden dann gewissermaßen alle Teile der Pflanze in der Luft wachsen, wie bei den tropischen, epiphytischen Orchideen.



Fig. 95. *Jussieua repens*, Teil eines Sprosses mit jungen Atemwurzeln

Daß bei derartig verschiedenen Verhältnissen auch die Ausgestaltung der einzelnen Pflanzenorgane eine sehr verschiedene sein muß, ist selbstverständlich. Aber eben wegen der sehr verschiedenen Ausbildung gelingt es vielfach nicht, die Organe einer Pflanze an ein anderes Medium zu gewöhnen. Typische Landpflanzen vertragen es gewöhnlich nur kurze Zeit, unter Wasser zu leben; viele ihrer normalen notwendigen Funktionen hören im Wasser auf oder sind mangelhaft, so Transpiration, Atmung, auch die Assimilation. Alle Blätter, die in der Luft wachsen, sind auf eine mehr oder weniger starke Verdunstung eingerichtet;

der Transpirationsstrom, der die Blätter durchzieht, ist für die Zellen des Blattes notwendig, im Wasser hört er ganz auf, weil die Blätter nicht verdunsten.

Die Atmung ist den Landpflanzen im Wasser ebenfalls sehr erschwert, denn während den Landpflanzen unbegrenzte Mengen Sauerstoff zur Verfügung stehen (die Luft enthält zirka 21 % Sauerstoff), müssen die Wasserpflanzen mit verhältnismäßig geringen Mengen auskommen. Wenn auch die im Wasser gelöste Luft etwa 38 Teile Sauerstoff (statt 21) enthält, so wird doch nur so wenig Luft gelöst, daß den Pflanzen kaum der zwanzigste Teil zur Verfügung steht, als in der Luft. Dabei wird der verbrauchte Sauerstoff nicht so rasch ersetzt; er diffundiert nur langsam in tiefere Schichten und wird sich in Sümpfen, in denen noch durch Oxydationsvorgänge der verschiedensten Art neben der Atmung der submersen Pflanzenteile viel Sauerstoff verbraucht wird, oft am Grunde der Gewässer völlig verlieren.

Die unter Wasser liegenden Pflanzenteile müssen aber ebenfalls atmen, und wenn ihnen das Wasser keinen Sauerstoff dazu liefert, so müssen sie Einrichtungen treffen, um den Sauerstoff der Luft aufzufangen und dorthin zu leiten, wo die Pflanze ihn braucht. Am vollkommensten ist dieses Problem wohl bei *Jussieu repens* gelöst, einer langstengligen, im Wasser oder in Sümpfen kriechenden Pflanze aus der Familie der Onagraceae, die besondere Atemwurzeln über die Wasseroberfläche emporsendet. Diese sind dicke fleischig-schwammige, hauptsächlich aus großzelligen, lufthaltigem Gewebe bestehende, zugespitzt zylindrische Gebilde von oft mehreren Zentimetern Länge, die von den übrigen Organen völlig abweichen. Durch ihren Luftreichtum sind sie sehr leicht und bedingen deshalb nicht nur, daß die Pflanze an sich in höheren, sauerstoffreicheren Schichten des Wassers sich halten kann, sondern, da sie mit ihren Spitzen in die Luft hineinragen, vermitteln sie in ihrem großzelligen Gewebe viel leichter und rascher das Eindringen von Sauerstoff selbst in die Pflanzenteile, die in sauerstoffarmen Wasserschichten ruhen.

Ganz ähnliche Bildungen kommen manchen Mangroven zu, die in dem Schlamm tropischer Strommündungen wachsen und hier jedenfalls auch für ihre Wurzeln den nötigen Sauerstoff nicht finden; auch sie senden aus dem Schlamm senkrecht aufwärtswachsende Atemwurzeln empor, die den Sauerstoff den tieferen Wurzelteilen zuführen.

Weniger ausgebildet sind die Atemwurzeln bei der amerikanischen Sumpfcypresse, *Taxodium distichum*. An sumpfigen Orten treiben nämlich die nahe unter der Oberfläche verlaufenden Wurzeln kegelförmige, innen hohle, bis meterhohe eigentümliche Auswüchse, die wahrscheinlich auch nur dem leichteren Gasaustausch, der Atmung, dienen; denn sie entwickeln sich gar nicht oder nur rudimentär, wenn sich die Pflanzen an trockenen oder wenigstens nicht sumpfigen Standorten befinden.

Bei allen eigentlichen Wasserpflanzen finden wir aber ganz charakteristische Eigentümlichkeiten, vor allen Dingen ein sehr stark ausgebildetes System von kommunizierenden Luftgängen, die Gase auch bis in die Wurzeln verhältnismäßig leicht gelangen lassen. Die Wurzeln selbst spielen mehr die Rolle von Haftorganen

und dienen der Nahrungsaufnahme wohl nur in demselben Grade als die übrigen Pflanzenteile, soweit sie untergetaucht sind. Es fehlen ihnen deshalb auch meist die Wurzelhaare, und sie sind überhaupt gewöhnlich so reduziert, daß sie schon aus diesem Grunde bei weitem nicht dasselbe für die Wasserpflanzen leisten können, als die Wurzeln dies bei den Landpflanzen tun müssen. Ja manche der schwimmenden Wasserpflanzen, wie die bekannte *Utricularia*, bilden überhaupt keine Wurzeln aus.

Dafür sind die untergetauchten Blätter der Wasserpflanzen oft überaus fein, wurzelartig zerschlitzt, oder überhaupt nur klein oder grasartig, um Wasserströmungen keinen zu großen Widerstand entgegenzusetzen. Sind aber Blätter von Wasserpflanzen dazu bestimmt, sich an der Oberfläche des Wassers auszuweiten, so müssen sie umgekehrt möglichst große, zusammenhängende Flächen



Fig. 96. Schwimmblätter der *Victoria regia*

darstellen, die womöglich auch durch einen Wachsüberzug oder Ähnliches auf der Oberseite nicht benetzbar sind. Am vollendetsten wird diese Form bei der *Victoria regia* erreicht, die kreisrunde Blätter bis zu 1 m Durchmesser ausbildet und diese noch mit einem zollhohen umgebogenen Rand versieht, damit die Wellen nicht immer Wasser auf das Blatt werfen können. Aber auch unsere heimischen Seerosen zeigen solche typische Schwimmblätter.

Manche Pflanzenarten bilden der Form nach ganz verschiedene untergetauchte und schwimmende Blätter aus, wie bei uns die Wasserhahnenfußarten, und wir finden nirgends eine ausgesprochenere Heterophyllie, als gerade bei Wasserpflanzen. Die untergetauchten Blätter sind mehr oder weniger fein zerschlitzt und vielfach geteilt, die auf dem Wasser schwimmenden ungeteilt oder doch nur sehr wenig geteilt im Verhältnis zu den untergetauchten. Besonders eigentümlich gestaltet sich das Verhältnis bei einem in Deutschland nicht häufigen Wasserfarn, *Salvinia natans*, einem kleinen schwimmenden Pflänzchen mit dreizähligen Blattquirleln, von denen je zwei paarweise gegenübergestellte Blätter

als Schwimmblätter ausgebildet sind und an der Oberfläche des Wassers, wie zwei Fiederblättchen eines Akazienblattes, schwimmen, während die dritten Blätter jedes Quirles untergetaucht sind. Die ersteren sind breitelliptisch, ungeteilt, die letzteren dagegen sehr lang fadenförmig, vielmals geteilt, mit langen feinen Haaren besetzt, die wie Wurzelhaare aussehen, und in der Tat wird jeder, der den wahren Tatbestand nicht weiß, ohne genaue Untersuchung diese Gebilde für Wurzeln erklären.

Ferner sind diese untergetauchten Stengel zwar sehr biegsam und zugfest, was dadurch bewirkt wird, daß die Gefäßbündel in einem zentralen Strang verlaufen und wenig oder überhaupt keine Sklerenchymelemente enthalten, aber sie sind auch sehr schlaff und sinken außerhalb des Wassers um. Das, was sie im Wasser aufrecht erhält oder bei schwimmenden

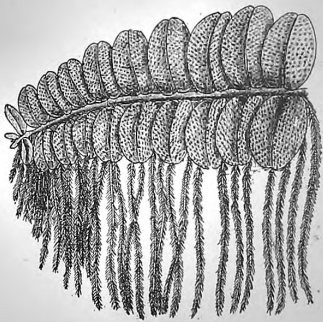


Fig. 98. *Salvinia natans* mit wurzelartigen untergetauchten und mit schwimmenden Blättern



Fig. 97. *Ranunculus aquatilis*. Heterophyllie

Pflanzen an der Wasseroberfläche, ist das geringe spezifische Gewicht, welches durch die verhältnismäßig großen Lufträume im Gewebe bedingt ist. Manche Pflanzen besitzen, um diesen Zweck noch zu unterstützen, besondere Anschwellungen, hauptsächlich an den Blattstielen, wie die Wassernuß (*Trapa natans*); die Anschwellungen sind mit Luft gefüllt und wirken wie Schwimmgürtel. Auch die luftgefüllten Blasen des Blasentangs (*Fucus vesiculosus*) haben den Zweck, die Pflanze im Wasser aufrecht zu erhalten. Schwimmblasen sind zum Teil wenigstens auch die kleinen zahlreichen Knötchen an den vielfach zerschlitzten Blättern des Wasserschlauches (*Utricularia*), die allerdings auch noch dem Insektenfang dienen.

Die Bedeutung dieser Einrichtungen für die Wasserpflanzen liegt einmal darin, daß sie dadurch ihre assimilierenden Organe sämtlich oder teilweise an

der Oberfläche des Wassers erhalten und sowohl Assimilation wie Atmung hier und in den obersten Wasserschichten wesentlich erleichtert ist, dann aber auch

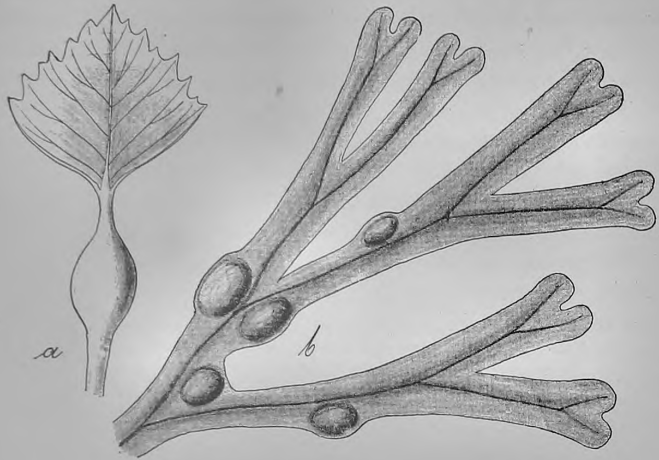


Fig. 99. Schwimmblasen. *a* Blatt der Wassernuß, *b* Blasentang (*Fucus vesiculosus*)

in der Notwendigkeit für die weitaus meisten Arten, ihre Blüten über das Wasser zu erheben, weil, wie in einem früheren Abschnitt auseinandergesetzt wurde, nur bei sehr wenigen Blütenpflanzen eine Übertragung des Pollens durch Wasser mög-

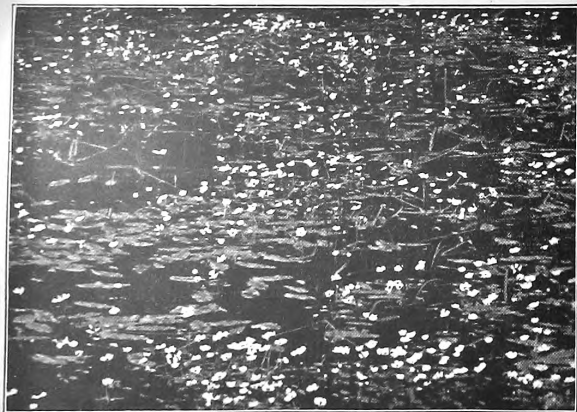


Fig. 100. Blühender Wasserhahnenfuß

lich ist. So entwickeln die Wasserhahnenfußarten, die in den Buchten stiller Teiche oder Tümpel die Wasseroberfläche oft mit einem vollständigen Blütenmeer bedecken ihre Blüten erst, wenn sie hinreichend zahlreiche an der Oberfläche

schwimmende Blätter gebildet haben, um die Last der über das Wasser vortretenden Blüten tragen zu können (Fig. 100).

Die meisten dieser so spezifisch dem Leben im Wasser angepaßten Formen würden gar nicht imstande sein, auf dem Lande zu leben, schon weil ihre Wurzeln nicht ausgebildet genug sind, um die ganze Pflanze zu ernähren und die Spaltöffnungen fehlen, um einen für die Ernährung notwendigen Transpirationsstrom zu ermöglichen. Es gibt aber doch nicht wenige Übergänge zwischen Wasser- und Landpflanzen, die dann aber, je nach dem Medium, gewöhnlich in einer Landform und einer Wasserform auftreten. Selten ist es, daß ausgesprochene Wasserpflanzen auch einmal unter besonders günstigen Verhältnissen als Landpflanzen sich entwickeln können. So wuchs in einem flachen, fast völlig ausgetrockneten Brunnen bei Obernigk unweit Breslau mehrere Jahre hintereinander eine Characee, *Nitella mucronata*, völlig in der Luft, kaum $\frac{1}{2}$ cm war sie am Grunde von Wasser bedeckt, während sie sich etwa 15 cm in die Luft erhob. Nur die dauernd feuchte Luft in dem engen Brunnen machte dieser ausgesprochenen Wasserpflanze die Existenz als Landpflanze möglich.

Von unseren heimischen Pflanzen ist besonders eine Knöterichart, *Polygonum amphibium*, als Land- und Wasserpflanze bekannt. Beide Formen sind sich übrigens sehr ähnlich und gehen am Rande von Teichen, langsam fließenden Gewässern usw., ineinander über. Die Landform ist aufrecht mit einem durch mechanische Elemente, namentlich auch durch Entwicklung eines Holzteiles biegungsfest gemachten Stengel, die Wasserform dagegen hat weichen, nicht durch mechanische Elemente und Holzbildung gefestigten Stengel, der wesentlich größere Lufträume enthält und flutet; die Blätter schwimmen. Auch manche Wasserhahnenfüße, besonders der verbreitete *Ranunculus aquatilis*, können sich gelegentlich auf feuchten Schlamm entwickeln, wenn einmal in trockenen Jahren ihr Standort nicht von Wasser bedeckt ist. Sie bilden dann kürzere Stengel und oft überhaupt keine zerschlitzten Blätter, sondern nur Schwimmblätter aus.

Von den typischen Landpflanzen wird im allgemeinen die Wurzel im Boden, alle übrigen Teile, besonders der Stamm, in der Luft entwickelt; aber es kommen verschiedentliche Abweichungen von dieser Norm vor. Es gibt nicht nur viele Pflanzen, deren gesamter Körper sich in der Luft entwickelt, dessen Wurzeln sich nur zwischen Ritzen der Rinde von Bäumen oder zwischen Organe anderer Pflanzen einzwängen, also nicht in den Boden dringen. Sie werden *Aërophyten* genannt und sind namentlich in den feuchten tropischen Wäldern in einer Fülle entwickelt, daß die Bäume oft ihren Stamm vor diesen epiphytischen Gewächsen nicht erkennen lassen. Die schönsten Formen der tropischen Orchideen gehören fast sämtlich zu diesen *Aërophyten*.

Ihre Wurzeln sind zu Luftwurzeln geworden; es fehlen ihnen die Wurzelhaare, die bei den Bodenwurzeln mit den Erdpartikelchen verwachsen und diese gewissermaßen aussaugen. Das Wasser nehmen sie teils als Regenwasser, teils als niederfallenden Tau auf, die festen Bestandteile, die als Staub auf die Rinde der Bäume fallen oder die von dem herabrieselnden Regenwasser aus den abgestorbenen Teilen der Baumrinde ausgelaugt werden, müssen ihnen die notwen-

digen Salze liefern; sie sind also vom Boden völlig unabhängig geworden. Aber sie haben dabei auch manche Veränderungen erlitten, die mit der Anpassung an ein ausschließliches Leben in der Luft zusammenhängen; sie müssen vor allen Dingen einen Vorrat von Wasser ansammeln können, der ihnen auch während der heißen Tageszeit, in der kein Tau und kein Regen fällt, die Transpiration gestattet, die gerade in dieser Zeit besonders lebhaft ist. Denn sie können ihren Wasserbedarf nicht fortwährend decken, wie die Pflanzen mit Bodenwurzeln, die einen unablässigen Strom in den Stamm senden. Sie müssen aber, besonders wenn sie regenlose Perioden durchmachen oder überhaupt in keinem besonders feuchten Klima leben, die verdunstenden Flächen im allgemeinen oft verkleinern, und da sehen wir allerlei Umbildungen, die wieder damit zusammenhängen, Verkleinerung der Blattflächen und verhältnismäßige Vergrößerung der Stammgebilde, Erscheinungen, die in den folgenden Kapiteln noch Berücksichtigung finden.

Andererseits kommt es aber bei den Landpflanzen auch umgekehrt dazu, daß ein größerer Teil des ganzen Pflanzenkörpers, nicht bloß die Wurzel, in der Erde steckt, und nur ein kleinerer, oft alljährlich im Herbst absterbender, über die Erde hervortritt. Das ist eine weit verbreitete Erscheinung bei den Pflanzen mit Rhizomen, Zwiebeln, Knollen usw. Die Rhizome sind ja nichts anderes als unterirdisch kriechende Stämme, die im Frühjahr einen Sproß mit Blüten und Blättern über die Erde schicken, der im Herbst nach der Fruchtreife wieder abstirbt. Ganz ähnlich liegen die Verhältnisse bei den Zwiebeln, die durch einen verkürzten, mehr oder weniger reich von fleischigen Niederblättern umgebenen Sproß gebildet werden.

Zu diesem halb subterranean Leben kommen die Landpflanzen besonders in Gebieten mit extremen Jahreszeiten; der Winter oder eine besonders trockene regenlose Periode bringen allerlei Nachteile für oberirdische Pflanzenteile. Besonders trockene Perioden drohen den Pflanzen mit reicher Laubentwicklung mit Tod durch Wassermangel; haben sie in dieser Zeit aber keine oberirdischen Organe, die verdunsten, so können sie auch monatelange Dürre ohne Schaden ertragen. Deshalb ist die bei weitem größere Mehrzahl aller Steppenpflanzen halbsubterrän. In den vorderasiatischen Steppen fällt meist nur während einiger Wochen im Frühjahr Regen, während die übrige Zeit des Jahres fast ohne Niederschläge ist. In dieser kurzen Zeit brechen die jährlichen Triebe der Stauden und Zwiebelgewächse hervor, blühen, fruchten und verwelken wieder, wenn die Dürre beginnt. Aber wenn die Steppe in der regenlosen Zeit auch im glühenden Sonnenbrand vertrocknet und zur Wüste wird, unter der Erde hält das schlummernde Leben aus, bis das Frühjahr mit seinen Niederschlägen kommt.

Besonders merkwürdig sind viele Zwiebel- und Knollengewächse dadurch, daß ihr ursprünglich an der Oberfläche der Erde sich entwickelnder Keimling allmählich einen Sproß bildet, der tief in die Erde hineinreicht. Der Sproß wächst nicht bloß aufwärts, sondern auch abwärts, bei der Herbstzeitlose 15 bis 20 cm tief und selbst darüber, denn erst in dieser Tiefe bildet sich die Knolle und setzen die Wurzeln an. Ähnlich ist es bei dem Türkenbund, *Lilium Mar-*

tagon, und bei vielen Orchideen. Aber nicht nur durch ein Abwärtswachsen des Sprosses, sondern auch durch eine nachträgliche Verkürzung der Wurzeln, kann es zu einer Versenkung des unteren Sproßteiles in den Boden kommen, und dies geschieht besonders häufig, wenn die unteren Sproßteile überwintern und im nächsten Jahre wieder austreiben sollen. Alle solche Pflanzen, die im Gegensatz zu den übrigen Landpflanzen neben den Wurzeln noch mehr oder weniger Sproßteile unter der Erdoberfläche entwickeln, hat man als *geophil* bezeichnet.

IV. KAPITEL

Anpassung an trockene, regenlose oder regenarme Gebiete

Alle Pflanzen, die in trockenen Gebieten leben, oder deren Standort es mit sich bringt, daß sie nur mit einer beschränkten Wassermenge zu rechnen haben, zeigen mehr oder weniger ausgebildete Einrichtungen, die Verdunstung herabzusetzen. Man hat alle solche für das Leben in trockenem Klima ausgerüstete Pflanzen als *Xerophyten* bezeichnet, und rechnet hierzu im weitesten Sinne auch alle Arten, die in sonst nicht gerade trockenem Klima die wasserärmsten Standorte bewohnen.

Eine hervorragende Einrichtung zur Regulierung der Verdunstung steht den Pflanzen ja schon in dem Spaltöffnungsapparat zur Verfügung, der selbsttätig bei zu großem Wasserverlust die Austrittsöffnungen für die Gase verschließt. Aber diese Einrichtung allein würde für extreme Fälle nicht ausreichen; wir sehen bei andauernd trockenem Wetter ja auch bei uns, daß Kartoffeln oder Rüben welken und sich erst während der Nacht wieder erholen, wo infolge der Nachtkühle die Verdunstung herabgesetzt ist, und die Wurzeln den verbrauchten Wasservorrat der Zellen wieder ersetzen können.

Es müssen also Pflanzen, denen normalerweise nur wenig Wasser zur Verfügung steht, wie Steppen- und Wüstenpflanzen, von vornherein ganz andere Einrichtungen besitzen, um einer zu großen Transpiration vorzubeugen. Das geschieht nun in sehr verschiedener Weise. In Gebieten, die eine, wenn auch nur kurze Regenzeit haben, sind diese Einrichtungen ganz andere als in Gegenden, die regenlos oder doch dauernd regenarm sind.

In den Gegenden mit Steppencharakter, die gewöhnlich im Frühjahr eine kurze Regenzeit haben, grünt und blüht alles in dieser Zeit in lebhafter Fülle; der Boden bedeckt sich mit einem bunten Teppich der verschiedensten Gewächse. Aber diese üppige Vegetation währt nur wenige Wochen oder Monate, mit Eintritt der trockenen Jahreszeit sterben die oberirdischen Teile ab und vertrocknen, werden von den Stürmen der Steppe losgerissen und verweht, so daß oft kaum noch Spuren des Lebens erkennbar bleiben. In dieser kurzen Spanne Zeit muß die Pflanze blühen und Frucht tragen, und muß unter Umständen auch die Reservestoffe für die nächste Vegetationsperiode bilden. Und das gelingt ihr bei ihrer Einrichtung, weil ihr in diesen Wochen Wärme und Feuchtigkeit reichlich

zur Verfügung stehen. Will sie aber beide ausnützen, damit sie bei Eintritt der Trockenheit ihre Früchte gereift hat, so muß sie rasch wachsen, und um das zu ermöglichen, muß ein kräftiger Transpirationsstrom sie durchziehen. Sie kann in dieser Zeit ihre Spaltöffnungen nicht mit allerlei Schutz vor zu starker Verdunstung umgeben, denn sie braucht zum raschen Wachstum viel Salze aus dem

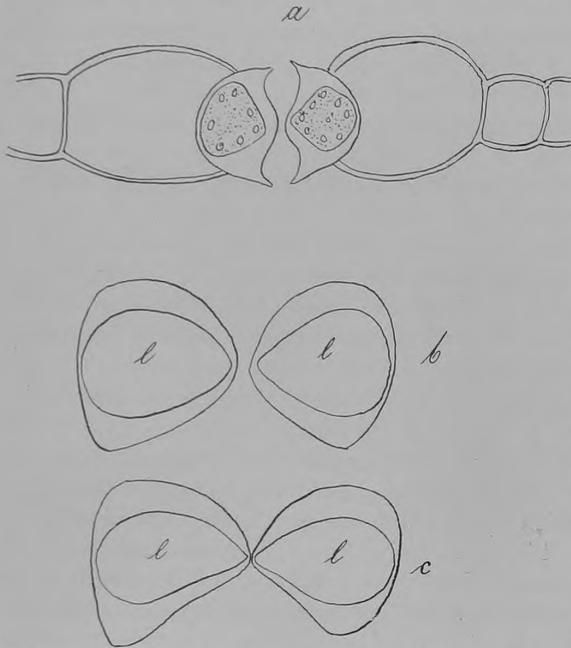


Fig. 101. Spaltöffnungen. *a* von *Plectogyne*, *b* schematische Darstellung der Schließzellen bei starker, *c* bei verminderter Transpiration. In *b* ist das Lumen *l* der Schließzellen infolge starker Turgorspannung rundlicher, sich mehr der Kugelgestalt nähernd. Die äußere Form der Zellen muß sich der des Lumens anpassen und ist ebenfalls mehr abgerundet, der Spalt zwischen beiden Zellen muß daher weiter sein und es kann reichlich Gas durchströmen. In *c* ist der Turgordruck gering, die Membran der Zellen nicht stark gespannt und übt ihrerseits einen formbestimmenden Einfluß auf das Zelllumen aus, indem die oben und unten stärker verdickten Wände sich auch stärker gerade zu strecken bestreben und dabei die Zelle nach der Richtung des Spaltes ausdehnen. Dieser wird dabei stark verengt und der Gasaustausch herabgesetzt

Zwiebelgewächse, deren oberirdische Teile alljährlich absterben und deren unterirdischer Teil allein erhalten bleibt, liefern also einen Hauptbestandteil der Steppeflora.

Außer ihnen können nur noch einjährige Pflanzen gedeihen, deren ganzes Leben, von der Keimung des Samens bis zur Fruchtreife sich in wenigen Wochen abspielt, Pflanzen mit so kurzer Vegetationsperiode, wie wir sie in andern Klimaten und unter anderen Lebensbedingungen kaum wiederfinden. Nur der kurze arktische Sommer gibt einer dürftigen Flora das Leben, deren kurze Lebensdauer sich zum

Boden, und diese können ihr nur mit vielem Wasser zugeführt werden. Die Salze hält sie fest, das überflüssige Wasser aber muß sie abgeben, verdunsten und deshalb muß sie in der Vegetationszeit für reichliche Verdunstung eingerichtet sein.

Tritt aber die trockene Jahreszeit ein, so liefert der Boden sehr bald nicht mehr so viel Wasser als die Pflanze verdunstet, und die ganze Pflanze würde zugrunde gehen, wenn sie nicht schleunigst die hauptsächlich verdunstenden Teile, Blätter und oberirdische Teile preisgeben würde; diese müssen also am Ende der Vegetationszeit absterben, um den eigentlichen unterirdischen Stamm der Pflanze zu erhalten. Stauden- und

Teil mit den einjährigen Steppenpflanzen vergleichen läßt; hier aber ist der Mangel an Wärme die Ursache.

Ähnlich zeigt sich auch in manchen Gegenden mit periodisch trockenem und feuchtem Klima die Grasvegetation; während kurzer Wochen oder Monate entwickeln sich besonders in den heißen Gegenden mächtige Grassmassen, die bald wieder vertrocknen, und nur die im Boden befindlichen Teile der Pflanzen behalten ihr Leben. Doch sind die Bedingungen der Entwicklung von Grasfluren so wesentlich mit von den Bodenverhältnissen abhängig, daß sich hier große Verschiedenheiten bieten. Was als Steppen, Llanos, Pampas, Prärien bezeichnet wird, ist zwar in großen Zügen ähnlich, aber doch durch viele Einzelheiten verschieden.

Das gleiche gilt von den Wäldern, die sich in Gegenden entwickeln, die zeitweise Trockenperioden durchmachen; auch sie bieten in den verschiedenen Ländern der Erde ein mannigfaches Bild. Aber eine Eigentümlichkeit zeigen alle in mehr oder weniger ausgeprägtem Grade, den Abfall des Laubes während der trockenen Jahreszeit. Wohl am ausgeprägtesten tritt diese Erscheinung in den Buschwäldern Brasiliens, den Caatingas auf, lichte, mit niedrigen Bäumen und Büschen aus den verschiedensten Gattungen und Familien bestandene, ausgedehnte ebene oder hügelige Strecken, die während der heißen Jahreszeit, also im Sommer, ihr Laub abwerfen, also sommerdürre sind, während sie in der kühleren aber regenreichen Periode, im Winter, sich frisch belauben. Auch hier ist die Verdunstung des im Sommer nur spärlich zu Gebote stehenden oder ganz fehlenden Wassers die Ursache, daß der Umfang der transpirierenden Flächen beschränkt wird, indem die Blätter abgeworfen werden. Dazu kommen noch allerlei Einrichtungen, irgendwo im Stamm oder in der Wurzel Wasser zu speichern, um selbst bei so reduzierter Verdunstung nicht durch Wassermangel zu leiden.

In anderer Weise wird die Wasserabgabe bei Pflanzen beschränkt, die nicht auf regenreiche Perioden zu rechnen haben. Die Pflanzen müssen auch bei Regenmangel, bei Wasserarmut des Bodens assimilieren und deshalb mit den spärlichen Wassermengen sparsam umgehen. Da muß zunächst die Transpiration auf ein der Trockenheit des Standortes entsprechendes Maß herabgemindert werden, und dies geschieht auf zweierlei Weise, durch Schutzeinrichtungen der transpirierenden Organe oder durch Verkleinerung dieser selbst.

Ein Schutz gegen zu starke Verdunstung durch die Blätter — und diese kommen wegen ihrer großen Flächenentwicklung und der zahlreichen Spaltöffnungen fast allein in Frage — kann wieder in sehr mannigfacher Weise erzielt werden. Da die Verdunstung hauptsächlich durch die Spaltöffnungen stattfindet, so müssen diese in besonderer Weise geschützt werden. Dies geschieht besonders dadurch, daß die Spaltöffnungen unter das Niveau der Epidermis verlegt werden, also in Vertiefungen zu stehen kommen, die bald nur Grübchen, bald aber tiefe Kanäle oder Rinnen darstellen. So liegen z. B. die Spaltöffnungen von vielen Schwertlilien etwas tiefer als die übrigen Zellen der Epidermis in kleinen Grübchen. Durch diese Einwirkung wird bewirkt, daß sich über der Spaltöffnung eine enge, mit Feuchtigkeit gesättigte Luftschicht befindet, die nicht ohne weiteres durch die trockene Außenluft ersetzt werden kann. Die

Diffusion der Wassergase wird also verlangsamt und Pflanzen mit eingesenkten Spaltöffnungen werden unter gleichen Verhältnissen weniger Wasser verdunsten als Pflanzen, deren Spaltöffnungen in gleicher Höhe mit den übrigen Epidermiszellen liegen.

Ein weiteres Schutzmittel gegen zu rasche Verdunstung ist die Behaarung der Blätter. Ein dichtes, oft filziges Haarkleid, wie es viele Pflanzen besonders auf der Unterseite der Blätter besitzen, wirkt in ganz ähnlicher Weise, wie die Versenkung der Spaltöffnungen herabmindernd auf die Transpiration, denn auch zwischen den Haaren bildet sich eine nur schwach zirkulierende, mit Feuchtigkeit gesättigte Luftschicht, die sich wie isolierend zwischen die Spaltöffnungen und die trockene Außenluft legt. Beide Schutzmittel finden sich auch häufig gleichzeitig, sowohl Versenkung der Spaltöffnungen als filzige Überzüge der Blätter. Letztere sind auch in unserem Klima bei Pflanzen, die auf dürrer sonnigen Standort wachsen, sehr häufig, ganz allgemein z. B. bei den Arten der Gattung *Gnaphalium*, *Katzenpfötchen*, verbreitet.

Die Haare haben aber noch eine andere Eigenschaft, die den Pflanzen indirekt bei der Herabsetzung der Transpiration zugute kommt; sind die Blätter, wie dies bei Pflanzen an sonnigen Standorten gewöhnlich der Fall ist, auch auf der Oberseite stark behaart, so wird durch diese gewöhnlich inhaltsarmen, lufthaltigen Haare ein großer Teil der Licht- und Wärmestrahlen reflektiert, zerstreut, das Blatt selbst wird weniger erwärmt und damit auch seine unmittelbare Umgebung, so daß eine verringerte Transpiration die Folge ist.

Die Behaarung ist übrigens bei ein und derselben Pflanzenart je nach dem Standort, ja selbst je nach dem die Blätter mehr im Licht oder mehr im Schatten wachsen, sehr variabel, und hierin besitzt die Pflanze ein außerordentliches individuelles Anpassungsvermögen. Am deutlichsten findet sich das bei einer unserer schönsten Alpenpflanzen, dem Edelweiß, ausgesprochen. Ein an den Hängen des Hochgebirges im glühenden Sonnenbrande erwachsenes Edelweiß ist durch die Fülle der lufthaltigen Haare wirklich weiß, und macht einen prachtvollen Eindruck, während die in den botanischen Gärten der Ebene oder in Gärtnereien gezogenen schmutzigrünen Pflanzen zwar oft viel größer werden, aber infolge des sehr viel geringeren Haarfilzes als geradezu häßliche Gewächse erscheinen; keine Spur von dem eigenartigen Reiz der Hochgebirgspflanze kommt ihnen mehr zu.

Unter den an trockenen Standorten der Ebene und des Hügellandes verbreiteten Pflanzen mit starkem Haarkleid sind besonders die verschiedenen Arten der Gattung *Verbascum*, *Königskerze*, zu erwähnen. Sie sind stellenweise sehr häufig, und man wird dann bald Pflanzen finden, die an ganz sonnigen Standorten und andere, die an mehr beschatteten Stellen wachsen, obgleich ganz schattige Stellen von ihnen überhaupt gemieden werden. Betrachtet man die Blätter solcher Pflanzen, so wird man bald den großen Unterschied in der Behaarung von Blättern an den Sonnenstandorten und dem an den schattigen Standorten finden.

Ein weiteres Mittel zur Herabsetzung der Verdunstung durch die Spalt-

öffnungen besitzen viele Pflanzen in der Fähigkeit, ihre Blätter so einzurollen, daß die Spaltöffnungen mehr oder weniger von der Berührung mit der Außenluft abgeschlossen sind. In unseren Gegenden haben merkwürdigerweise gerade eine Anzahl Hochmoorpflanzen diese Fähigkeit, besonders der Sumpfporst (*Ledum palustre*). Man sollte annehmen, daß Moorpflanzen nicht an Wassermangel zu leiden haben. Aber es kommt nicht immer allein auf den Wasserreichtum des Bodens, der übrigens gerade an den Standorten dieser Pflanzen auch manchmal sehr vermindert ist, an, sondern auch auf die Fähigkeit größerer oder geringerer Wasseraufnahme durch die Wurzeln. Gerade solche Moorpflanzen haben oft ein

unbedeutend entwickeltes Wurzelsystem und können in dieser Hinsicht durchaus nicht mit den Landpflanzen konkurrieren, bei denen der Wassererwerb eine so wichtige Aufgabe ist. Sie schwelgen vielmehr im allgemeinen in Überfluß an Feuchtigkeit. Kommen dann sehr heiße, trockene Tage, an denen oft auch die Oberfläche der Moore ziemlich austrocknet, so reichen die weniger entwickelten Wurzeln nicht mehr aus, um den Wasserbedarf voll zu decken, und die Pflanze muß die Transpiration einschränken, was hier durch die Einrichtung der Rollblätter geschieht.

Das Einrollen geschieht meist nur am Rande auf der Unterseite, und hier liegen auch die meisten Spaltöffnungen, so daß diese in eine Art Rohr zu liegen kommen, welches sich rasch mit Feuchtigkeit gesättigter Luft erfüllt und damit die Transpiration vermindert. Bei andern Pflanzen ist diese Einrichtung noch in viel wirksamerer Weise durchgeführt, z. B. bei einem auf trockenen Hügeln wachsenden Grase, *Stipa capillata*. Hier liegen die Spaltöffnungen in Furchen auf der Oberseite des bei normalen Verhältnissen ausgebreiteten Blattes. Bei großer Trockenheit rollt sich das Blatt mit den Rändern aufwärts so zusammen, daß es fast stielrund wird und die Blattränder sich berühren. Dabei werden die Spaltöffnungen doppelt verwahrt; einmal dadurch, daß die Furchen sich beim Einrollen schließen, indem ihre Wände sich berühren und zweitens dadurch, daß

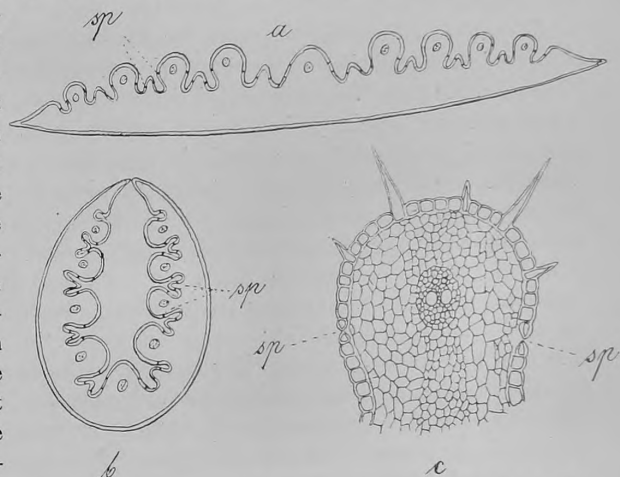


Fig. 102. *a* Querschnitt eines Blattes von *Stipa capillata* in feuchtem Zustande, *b* bei trockener Witterung, eingerollt. Die Lage der Spaltöffnungen *sp* ist durch schwarze Punkte gekennzeichnet. Schwach vergrößert. *c* eine Lamelle des Blattes stärker vergrößert im Querschnitt, mit zwei Spaltöffnungen *sp*

das ganze Blatt sich zusammenrollt und in der Mitte nur einen allseitig geschlossenen Luftkanal freiläßt.

Eine sehr beträchtliche Herabsetzung der Transpiration wird auch erreicht durch den Gehalt an fetten und flüchtigen Ölen. Bei der Verdunstung flüchtiger Öle kommt es zu einer Temperaturherabsetzung und damit auch Verminderung der Transpiration; ebenso wirkt die Gashülle, welche die verdunsteten flüchtigen Öle um die Pflanze bilden, der weiteren Verdunstung von Wasser entgegen. Deshalb sind auch, abgesehen von ihrer abschreckenden Wirkung gegenüber Tieren, ätherische Öle für Pflanzen in trockenen Klimaten sehr wertvoll. Fette Öle, die ebenfalls vielfach bei Pflanzen trockener Gegenden vorkommen, sind gerade meist in den obersten Zellschichten unter der Epidermis enthalten und setzen durch ihre Undurchlässigkeit für Wasser die Verdunstung natürlich ebenfalls herab. Sie sind z. B. in reichlichem Maße bei vielen terrestrischen Isoëtesarten entwickelt, die eine längere Trockenperiode durchzumachen haben. Auch in Dauerzuständen der verschiedensten Art, sehr häufig in Dauersporen der Algen, Akineten usw. kommt es zur Bildung großer Ölmengen, die nicht nur als Reservestoffe dienen, sondern vermutlich auch gleichzeitig die Verdunstung herabsetzen.

Ähnliche für Wasser undurchlässige Stoffe, besonders Harze, lackartige Körper, Wachs, auch Kalkmassen, werden häufig auf den Blättern abgelagert, um die Verdunstung zu vermindern. Ein Wachsüberzug ist bei unseren Pflanzen nicht häufig, wenn auch nicht ganz fehlend, bei Steppenpflanzen, bei manchen Akazien, Myrten, Euphorbien und Rutaceen aber verbreitet. Auch einzelne Palmen besitzen mächtige Wachsüberzüge, so *Ceroxylon andicola*, deren Blätter eine über Millimeter dicke Wachsschicht tragen können, so daß das Wachs technisch gewonnen wird und als Pflanzenwachs in Handel kommt. Von den heimischen Pflanzen zeigt *Myrica gale*, eine in den nordwestdeutschen Torfmooren vorkommende Pflanze, an den Früchten Wachsüberzug. Auch der eigenartige Reif der Pflaumen besteht aus einer Wachsausscheidung, welche dazu dient, die saftigen Früchte vor zu großer Verdunstung und damit frühzeitiger Schrumpfung zu bewahren. An den Knoten des Zuckerrohrs und einiger anderen Gräser tritt der Wachsüberzug in Form kleiner paralleler, leicht gebogener, dicht gestellter Stengelchen hervor. Meist aber tritt das Wachs nicht außen hervor, sondern durchtränkt nur die obersten Schichten der Epidermis und Cuticula, weshalb die meisten Pflanzenteile von Wasser nicht benetzt werden.

Lack- oder Harzüberzüge, die sich durch Spiritus von den Blättern ablösen lassen, kommen hauptsächlich auf der südlichen Halbkugel vor; bei ihnen ist die Epidermis schwach entwickelt und auch wenig kutikularisiert, den Schutz übernimmt hier die zusammenhängende glänzende Lackschicht, die nicht nur undurchlässig für Wasserdämpfe ist, sondern auch einen großen Teil der Lichtstrahlen reflektiert, so daß sie gar nicht in das Blattinnere eindringen können. Von unseren heimischen Pflanzen zeigen junge Birkenblätter, in geringerem Grade auch manche Pappelblätter einen glänzenden Harzüberzug, der aber sehr dünn ist und bald wieder verschwindet. Junges Birkenlaub hat auch einen charakteristischen aromatischen Geruch, der von dieser Balsamschicht herrührt. Der

Überzug wirkt natürlich auch verlangsamend auf die Verdunstung, die in den jungen Blättern, deren Zellwände noch nicht die notwendige Stärke besitzen, an trockenen Standorten manchmal gefährlich werden könnte. An Pappeln sind besonders die Knospenschuppen durch Balsamüberzug vor zu großer Verdunstung geschützt; derselbe ist an jungen austreibenden Knospen so groß, daß sie ganz klebrig sind. Am mächtigsten entwickelt ist der Balsamüberzug an den stark klebrigen Knospenschuppen der Roßkastanie.

Seltener dient eine Ausscheidung von kohlensaurem Kalk als Schutzmittel gegen zu starke Verdunstung; sie kommt hauptsächlich einigen Steinbrechgewächsen zu und dient nicht nur als schwer durchlässiger Mantel, sondern auch zur Reflexion zahlreicher Sonnenstrahlen. Das gleiche gilt von den Salzausscheidungen einiger Strandpflanzen und Bewohnern von Salzsteppen. Merkwürdig sind die verkieselten Schutzdächer, welche die am Kap wachsende *Rochea falcata* und einige verwandte Arten über den Blättern entwickeln. Einzelne Epidermiszellen wölben sich anfangs papillenartig über die Oberfläche vor, wachsen allmählich zu großen, flachen, sich gegenseitig berührenden und zusammenschließenden Blasen aus, die anfangs Wasser enthalten, später aber verkieseln und lufthaltig werden. Zwischen der verkieselten Außenwand der Zelle und dem eigentlichen Blattgewebe befindet sich bei den ausgewachsenen Blättern dann eine isolierende Luftschicht, die natürlich einen hervorragenden Schutz gegen Verdunstung gewährt.

Bei einer großen Gruppe von Pflanzen der verschiedensten Familien wird die Aufgabe, die Wasserverdunstung zu beschränken oder die Wasserspeicherung der Verdunstung anzupassen, in ganz anderer Weise gelöst, nämlich durch Reduktion der transpirierenden Flächen unter gleichzeitiger Vergrößerung der wasserspeichernden Gewebe. Daraus resultieren die merkwürdigen Pflanzenformen, die man unter dem Namen *Fettpflanzen*, *Sukkulente*n, zusammenfaßt, und die man wieder in *Blattsukkulente*n und *Stammsukkulente*n gliedert, je nachdem die wasserspeichernden Gewebe mehr in den einen oder anderen Organen zur Entwicklung kommen. Die Unterdrückung der transpirierenden Organe, als die ja hauptsächlich die Laubblätter anzusehen sind, kann so weit gehen, daß eigentliche Blattbildungen an den vegetativen Teilen gar nicht mehr vorkommen, und diese Ausbildungsformen bezeichnet man als *Nopalgewächse*. Es sind hauptsächlich Kakteen und Euphorbiaceen, die in heißen trockenen, oft jahrelang den Regen entbehrenden Gebieten leben.

Manchmal findet sich allerdings auch kein eigentlicher Sukkulente habitus bei wasserspeichernden Pflanzen. In den Sommerdürren Caatingas Brasiliens kommen merkwürdig geformte, flaschenähnliche Baumstämme vor, oder, wie der *Barriguda* (*Cavanillesia*), Bäume, die etwa 20 m hoch und in der Mitte bis 5 m dick sind, sich nach oben und unten stark verjüngen. Das Holz ist sehr weich und schwammig und füllt sich in der Regenzeit mit Wasser, das es dann in der Trockenheit allmählich abgibt. Die Blätter sind nicht besonders geschützt oder etwa sukkulenteartig ausgebildet, sie fallen aber in der trockenen Jahreszeit ab.

Von heimischen Pflanzen sind nur einige Crassulaceen hierher zu rechnen,

Blattsukkulenten, wie *Sedum* und *Sempervivum*arten. Beide wachsen an den trockensten Standorten und je dürren der Standort, desto auffallender prägt sich der Sukkulentencharakter aus. Bei dem an sonnigen Waldrändern und an trockensten Feldrainen häufigen *Sedum maximum*, ebenso bei den selteneren *S. purpureum* und *S. Fabaria* sind die Blätter zwar schon fleischig dick, aber immer noch flach ausgebreitet und im Verhältnis durchaus nicht klein. Ihr Standort ist auch noch durchaus kein abnorm trockener. Bei dem auf sonnigen Felsen und Mauern noch gut gedeihenden Mauerpfeffer (*Sedum acre*) und verwandten Arten sind die Blätter schon stark reduziert, klein, fast walzenförmig, kaum viel breiter als dick, die transpirierende Oberfläche hat also bereits eine starke Verkleinerung gegenüber dem Volumen erfahren. Auch die auf Felsen und Dächern mancher Gegenden häufige Dachwurz, *Sempervivum tectorum*, hat überaus dicke, fleischige Blätter, die, solange die Pflanze keinen Blütenschaft treibt, eine grundständige Rosette bilden.



a



Fig. 103, a Blatt von *Sedum maximum*, a von *S. acre*. Darunter die Blätter im Querschnitt. Nat. Größe



Schneidet man ein Blatt des Mauerpfeffers durch, so zeigt sich schon dem bloßen Auge ein Bau, der von dem anderer Laubblätter merklich abweicht. Nur eine periphere Schicht ist grün gefärbt, dient also der Assimilation, der ganze innere dicke, schwammige Teil des Blattes ist farblos und dient der Hauptsache nach als Wasserspeicher, um auch während der trockensten Zeit das nötige Wasser an die assimilierenden Zellen abgeben zu können. Dasselbe Bild wiederholt sich nun in ziemlich ähnlicher Weise bei allen Blattsukkulenten, doch sind bei vielen noch besondere Schutzmittel gegen Verdunstung, wie sie oben besprochen wurden, nebenbei vorhanden.

Die größte Reduktion der transpirierenden Flächen zeigt sich, wie schon erwähnt, bei den Nopalgewächsen, deren bekannteste Formen, die Kakteen oder Fackeldisteln, auch bei uns ihrer bizarren Formen wegen kultiviert werden. Hier sind die Blätter als assimilierende Organe ganz unterdrückt und zu Stacheln umgewandelt, die die saftigen Kaktusstämme in den wasserlosen Gegenden vor hungrigen und vor allen Dingen durstigen Tieren beschützen. Denn das innere Gewebe vieler in den trockensten Gegenden Mexikos lebenden Kakteen ist so wasserreich, daß eine einzige große Pflanze beim Zerstampfen dieses Gewebes mehrere Liter einer trüben, etwas säuerlich schmeckenden Flüssigkeit liefert, die manchem Durstigen recht begehrenswert erscheint und in der Tat auch schon manchem halbverdursteten Menschen das Leben gerettet hat. Denn der Mensch mit seinen Hilfsmitteln vermag sich dieser Flüssigkeit ohne Schwierigkeit zu bemächtigen; der obere Teil einer solchen großen Säulen- oder mehr ellipsoidischen Kaktuspflanze wird deckelartig abgeschnitten und dadurch das innere, wasserhaltige, sehr weiche Gewebe bloßgelegt. Mit einem einfachen Stock kann man dasselbe bei manchen Arten zerrühren, die Membranbestandteile setzen sich nach einiger Zeit zu Boden und der trübe Zellsaft kann abgeschöpft und genossen

werden; der Geschmack desselben wird verschieden geschildert, die einen loben ihn als angenehm und erfrischend, die anderen nennen ihn fad. Die Größe des Durstes wird dabei wohl beträchtlich mitbestimmend wirken, wie man ja auch den Hunger als den besten Koch bezeichnet. Die Größe des Durstes in jenen wasserlosen Regionen hat aber auch die eingeborenen Pferde und Esel gelehrt, sich, trotz der Stacheln, die im Kaktus aufgespeicherte Feuchtigkeit zugänglich zu machen. Sie schlagen mit den Hufen die Stacheln ab und Stücke aus dem



Fig. 104. *Euphorbia grandicornis*

Pflanzenkörper heraus, um auf diese Weise ungefährdet zu dem weichen flüssigkeitsreichen Inhalt zu gelangen.

Freilich sind neben den transpirierenden Flächen auch gleichzeitig die assimilierenden bei den Nopalgewächsen erheblich verkleinert, es wird wenig organische Substanz gebildet, und das Wachstum ist ein sehr langsames. Das Assimilationsorgan ist hier der Stamm selbst, und da die bei der Assimilation wirksamen Lichtstrahlen sehr bald durch die grünen Zellen absorbiert und verbraucht werden, so kann eine Verdickung der assimilierenden Schicht nicht helfen, denn die untersten Lagen der grünen Zellen würden bald nicht mehr ausreichend Licht erhalten. Manche Pflanzen haben aber noch besonders auffallende Einrichtungen, die bis zu einem gewissen Grade diesen Nachteil abzuschwächen im-

stande sind. Sie besitzen, wie beispielsweise *Mesembryanthemum crystallinum*, kleine farblose, blasenförmige und außen den Blättern und Stengeln aufsitzende Wasserspeicher, die anscheinend nicht nur als solche dienen, sondern auch noch als Sammellinsen und die Aufgabe haben, die aufgefangenen Lichtstrahlen möglichst zu konzentrieren und tief in den Pflanzenkörper hineinzuwurfen. Dadurch würde auch eine dickere Schicht chlorophyllhaltiger Zellen noch zu assimilieren imstande sein, es würde mehr organische Substanz gebildet werden, und die Pflanze könnte rascher wachsen. Das trifft in der Tat bei diesen Pflanzen zu, ihr Wachstum ist ein erheblich rascheres als bei den nicht mit solchen Lichtsammlern ausgerüsteten Verwandten, viel rascher als bei den blattlosen Nopalgewächsen.



Fig. 105. *Rubus squarrosus*, Blatt.
Am Ende der Rippen die Reste der
Blattlamina

Ganz ähnliche Erscheinungen zeigen manche Euphorbien. Unsere heimische Flora besitzt ja deren mehrere Arten, bei allen sind aber die Blätter normal, wie bei anderen Pflanzen unserer Gegend entwickelt, es zeigt sich keine Spur irgendwelcher Sukkulenz. In den dürrn Gebieten besonders Südafrikas kommen aber Euphorbien vor, die ganz ausgesprochene Stammsukkulenten sind, wie *E. grandicornis*, die auch äußerlich einem Kaktus gleicht. Überhaupt finden sich der Form nach in diesen so weit voneinander entfernten, aber klimatisch ähnlichen Gebieten, wie die Hochländer Mexikos und Südafrikas, unter den Pflanzengestalten viele Ähnlichkeiten. Gerade die hier, aber auch in anderen regenarmen Gebieten als Sukkulenten besonders entwickelten Euphorbien, ahmen die verschiedensten Kaktusgestalten nach; so ähnelt *Euphorbia xylophylloides* in mancher Hinsicht den Opuntien, *E. caput Medusae* den Rhipsalideen.

Zu den Xerophyten sind auch diejenigen Pflanzen zu rechnen, bei denen die Assimilation durch rutenförmige Sprosse bewirkt wird, während die Blätter ganz oder teilweise unterdrückt sind. Gewöhnlich sind diese Ruten sehr dünn und haben deshalb keinen Raum für Anlage von Wasserspeichern. Bei dem australischen *Rubus squarrosus* verschwindet die Blattspreite der dreizähligen Blätter bis auf geringe Reste an den Enden der Rippen, während diese zu sproßartigen dünnen dornigen Gebilden werden; die Blattflächen stehen vollständig zurück gegenüber der Menge dünner rutenförmiger Organe. Bei den Arten der Gattung *Ephedra* sind die Blätter überhaupt fast ganz unterdrückt, und nur die Achsenorgane übernehmen die Assimilation. Bei den in Steppen wachsenden Arten von *Genista* und *Spartium* sind die Blätter ganz verschwunden; übrigens zeigen auch die bei uns heimischen Vertreter dieser Gattungen schon eine ziemliche Reduktion der Blätter gegenüber dem Stengel, und besonders bei dem *Besenginster* macht sich das in auffallender Weise be-

merkbar. Dafür vermag dieser genügsame Strauch aber auch bei uns auf dem dürrsten Sande noch fortzukommen und sich an Stellen zu entwickeln, die nur wenigen Gliedern unserer Flora noch Feuchtigkeit genug bieten.

Alle diese rutenartigen Gewächse mit verminderter oder unterdrückter Blattbildung unterscheiden sich von den Sukkulenten durch die Wasserarmut ihrer Gewebe; sie haben nicht wie diese einen Wasservorrat gespeichert, den sie nach und nach zusetzen können, sondern müssen noch sparsamer mit der ihnen zu Gebote stehenden Feuchtigkeitsmenge umgehen. Gerade bei ihnen sind deshalb auch die im Anfang des Kapitels besprochenen Einrichtungen zur Herabsetzung der Verdunstung in besonders hohem Maße vorhanden.

Schließlich sei noch erwähnt, daß echte Wüstenpflanzen oft außerordentlich tiefgehende, bis in das Grundwasser hinabreichende Wurzeln besitzen; so kommt es, daß einzelne Arten, besonders *Citrullus Colocynthis*, den ganzen dürren Sommer hindurch saftige, durchaus nicht xerophyl gebaute, große Blätter und Sprosse treiben kann.

V. KAPITEL

Einfluß großer Feuchtigkeit auf Pflanzen

Ebenso wie ein besonders trockenes Klima drückt auch ein besonders feuchtes den Pflanzen ein charakteristisches Gepräge auf; auch die Standortverhältnisse in ein und demselben eng begrenzten Gebiet lassen in dieser Hinsicht große Verschiedenheiten im Aussehen und im Bau der Pflanzen zutage treten. Eine scharfe Grenze zwischen beiden Extremen ist freilich nicht vorhanden. Von den ganz im Wasser untergetaucht lebenden Formen bis zu den Bewohnern der trockenen Wüste zieht sich eine ununterbrochene Kette von Pflanzengestalten, die in allen Abstufungen Anpassungen an Wasserreichtum und Wassermangel besitzen. Man nennt im Gegensatz zu den Xerophyten alle großer Feuchtigkeit angepaßte Arten Hygrophyten; zwischen beiden Extremen stehen die Mesophyten, die am besten unter mittleren Feuchtigkeitsverhältnissen gedeihen.

Zu den großem Wasserreichtum angepaßten Pflanzen werden zunächst die Wasserbewohner selbst zu zählen sein, ferner auch die meisten Sumpf- und Moorpflanzen, obgleich unter diesen auch schon Formen mit ausgesprochener Xerophytenstruktur auftreten; schließlich gehören hierher die Bewohner der tropischen Regengebiete. Auch Gebiete mit besonders hoher relativer Luftfeuchtigkeit, die durchaus nicht immer mit Regengebieten zusammenzufallen brauchen, können Pflanzen mit ausgesprochenem Hygrophytencharakter beherbergen.

Die Wasserpflanzen selbst leben nun allerdings unter ganz anderen Verhältnissen, als etwa ihre Schwestern in den tropischen Regengebieten; sie sind so vollständig dem Medium angepaßt, daß auch ihre Ausbildung, wie bereits in einem früheren Kapitel beschrieben, eine ganz eigenartige und völlig abweichende ist.

Freilich finden sich auch bei ihnen beträchtliche Verschiedenheiten, die aber weniger auf ihrem Verhältnis zum Wasser selbst, als vielmehr auf dem gegenüber Licht und Wärme beruhen. Denn das Licht dringt nur in begrenzte Wassertiefen und kann nur bis zu einer bestimmten Tiefe Assimilation ermöglichen. Die Wassermenge ist aber nicht nur in den verschiedenen Meeren, sondern auch in den verschiedenen Schichten sehr ungleich und wird auch im Meere Wärmezonen mit verschiedenen Bewohnern bilden.

Charakterisiert sind alle Wasserpflanzen durch das Zurücktreteten des Spaltöffnungsapparates; den untergetauchten Teilen fehlen die Spaltöffnungen ganz, an den auf der Oberfläche des Wassers schwimmenden Blättern sind sie im Gegensatz zu den in der Luft entwickelten Blättern nur auf der Oberseite entwickelt, und nur die über Wasser ragenden Teile zeigen eine ähnliche Entwicklung von Spaltöffnungen wie die Landpflanzen. Die Spaltöffnungen sind auch für die untergetauchten Teile überflüssig, denn es fehlt der Transpirationsstrom, welcher die Landpflanzen durchzieht und für die aus dem Boden aufgenommenen Salze das Transportmittel abgibt. Die Wasserpflanzen brauchen die anorganischen Nährstoffe nicht mit den Wurzeln aufzunehmen und den langen Weg bis in die Sproßenden zu leiten, das umgebende Wasser enthält ja die Stoffe gelöst, und jede peripher gelegene Zelle kann sie aufnehmen und den darunterliegenden weitergeben. Aber abgesehen von dem Transpirationsstrom, dessen Wasser nach Erfüllung seines Zweckes als Transportmittel aus der Pflanze durch Verdunstung wieder abgegeben werden muß, liegen auch die Verhältnisse des Gasaustausches bei den Wasserpflanzen ganz anders. Die Gase, welche von der Pflanze gebraucht werden, sind hier im Wasser gelöst, so daß sie nicht in Form von Gasperlen durch die Spaltöffnungen eindringen können, sie werden vielmehr mit dem Wasser selbst aufgenommen wie die Nährsalze. Sie müssen ebenfalls überall in die Pflanze eindringen können.

Die Folge dieses Mangels an Spaltöffnungen ist eine zweite Eigentümlichkeit der Wasserpflanzen, die sie im allgemeinen von den Landpflanzen unterscheidet; ihre Epidermis ist gewöhnlich nicht besonders verdickt oder sonstwie gegen den Durchtritt von Gasen oder Wasser geschützt, die Kutikula ist unbedeutend oder fehlt, wenigstens in der typischen Ausbildung der Landpflanzen. Sie brauchen ja auch keinen Schutz vor zu starker Verdunstung, denn sie sind ja unter normalen Verhältnissen stets vom Wasser umgeben. Kommen dann aber solche Wasserpflanzen einmal aus ihrem natürlichen Element, so verwelken sie auch, sobald das äußerlich anhaftende Wasser verdunstet ist, überaus schnell, zehnmal rascher als abgerissene Landpflanzen, weil ihnen eben gar keine Schutzmittel gegen zu große Wasserabgabe zu Gebote stehen. Ja, selbst wenn der untere Teil der Pflanze mit den Wurzeln im Wasser bleibt und nur der obere, sonst aber untergetaucht lebende, aus dem Wasser gezogen wird, verwelkt er sehr bald, weil die Leitungsbahnen bei diesen Pflanzen nur unbedeutend entwickelt sind, und von den untergetauchten Teilen aus nicht annähernd so viel Wasser in die an die Luft gebrachten befördert werden kann, als dort verdunstet wird. Typische Wasserpflanzen sind deshalb auch so vollständig an dieses Element

gebunden, daß auch nur eine kurze Eintrocknung des Wassers ihr Leben bedroht.

Weniger empfindlich sind dagegen in der Regel Landpflanzen für kurze Unterwassersetzung; längere werden dagegen auch von ihnen meist nicht ertragen, weil der Transpirationsstrom, an den ihr Bau gebunden ist, unter Wasser stockt, und weil die Gasaufnahme durch die Spaltöffnungen verhindert oder doch nur in sehr beschränktem Maße möglich ist. Allerdings verhalten sich da die einzelnen Arten verschieden. Manche Pflanzen vertragen nicht einmal Überschwemmungen, bei denen nur der Boden mit einer Wasserschicht bedeckt ist, während der obere Teil der Pflanze normal in Luft sich befindet. Dahin gehören die Nadelhölzer, die im Inundationsgebiet unserer Ströme fehlen. Bedeckt auch nur kurze Zeit das Wasser bei einer Überschwemmung den Boden, oder hat sich durch Druckwasser vom Grundwasser aus eine Wasserschicht über dem Boden eingefunden, so sterben die Nadelhölzer ab, weil den Wurzeln bald der nötige Sauerstoff zur Atmung fehlt. Am schlimmsten ist in dieser Beziehung das Druckwasser, weil es von unten aufsteigend die Luft nach oben aus dem Boden austreibt und als stehendes Wasser auch nicht so leicht sich mit neuem Sauerstoff in den tieferen Schichten sättigen kann. Strömendes Wasser wirkt lange nicht so schädlich und namentlich auch viel später, weil es nicht nur mehr Sauerstoff enthält und immer wieder neu aus der Luft aufnimmt, ferner auch deshalb, weil es, von oben über den Boden wegfließend, die Luft nicht in gleichem Maße aus dem Boden verdrängt.

Für die Esche, die doch eigentlich ein Baum der Auenwäldungen ist und gern geschlossene Bestände im Tieflande bildet, sind Überschwemmungen während der Vegetationszeit ebenfalls gefährlich, die Wurzeln ersticken leicht, und der Baum stirbt ab. Während der Vegetationsruhe dagegen schaden ihr Überschwemmungen nicht, weil die Atmungstätigkeit dann so verringert ist, daß auch bei längerer Dauer der Überflutung der im Boden enthaltene Sauerstoff für die Atmung ausreicht. Andere Bäume, wie Erlen, Weiden, verschiedene Sträucher, vertragen selbst wochenlange Überschwemmungen ohne besonderen Schaden.

Manche Pflanzen können ein vollständiges Zwitterleben führen, wie der Wasserhahnenfuß oder *Polygonum amphibium*. Der erstere (*Ranunculus aquatilis*) ist jedenfalls eine ausgesprochene Wasserpflanze, welche größtenteils untergetauchte, fein zerschlitzte Blätter besitzt und nur einige an der Oberfläche schwimmende, die zwar auch noch vielfach gelappt und eingeschnitten, aber nicht zerschlitzt sind. Trocknet die Wasseransammlung aus, so braucht der Wasserhahnenfuß deshalb doch nicht zugrunde zu gehen; die Wasserblätter sterben zwar ab, aber er entwickelt jetzt Blätter, die vollständig dem Leben in der Luft angepaßt sind und nicht nur eine ganz andere Form, sondern auch einen dem Landleben entsprechenden anatomischen Bau mit Spaltöffnungen besitzen. Allerdings wird er trotz dieser hohen Anpassungsfähigkeit niemals zu einer eigentlichen Landpflanze, sondern bleibt an Standorte gebunden, die wenigstens zeitweise unter Wasser stehen. Ähnlich verhalten sich manche Wassersternarten (*Callitriche*), von denen es ebenso wie beim Wasserranunkel Land- und Wasserformen gibt.

In weit höherem Grade wird aber bei einer Knöterichart, *Polygonum amphibium*, die Anpassung an Wasser- und Landleben zum Ausdruck gebracht; hier kommen beide Formen mehr oder weniger regelmäßig nebeneinander vor, die eine am Ufer von Gräben, Bächen oder Teichen, die andere im Wasser selbst. Die Landform besitzt kurzgestielte, steifhaarige, schmale, die Wasserform schwimmende, langgestielte, kahle und breitere Blätter. Die Pflanzen sehen völlig verschieden aus, doch sind Zwischenformen vorhanden, und je nachdem sich die Samen im Wasser oder am Lande entwickeln, kann man von ein und derselben Pflanze beide ganz verschiedene Formen erhalten.

Diesen beiden schon teilweise dem Landleben angepaßten Formen schließen sich die Sumpfpflanzen an, d. h. Formen, bei denen der untere Teil des Körpers, besonders das Wurzelsystem, unter Wasser oder wenigstens in sehr stark wasserhaltigem, schlammigem oder moorigem Boden, der obere Teil, insbesondere die Assimilationsorgane in der Luft leben. Die anatomische Ausbildung der Organe ist eine sehr verschiedene, hält aber ungefähr die Mitte zwischen der der Landpflanzen und der der Wasserpflanzen. Das Wurzelsystem ist vielfach noch unbedeutend, da der reichliche Wassergehalt Nahrungs- und Wasseraufnahme erleichtert. Auch finden sich meist noch große Lufträume im Innern, die bis in die Wurzeln hinabreichen, um den im Sumpf oft mangelnden Sauerstoff durch den Pflanzenkörper bis in die Wurzeln leiten zu können. Oder es treten die schon besprochenen Atemwurzeln auf.

Die Wasserleitung ist aber bei den Sumpfpflanzen schon in ganz anderer Weise entwickelt als bei den typischen Wasserpflanzen, denn wenn ihnen auch unter normalen Verhältnissen fast unbegrenzte Wassermengen zur Verfügung stehen, so sind doch nur die unteren Teile direkt vom Wasser umgeben, in die oberen dagegen muß es erst heraufgeschafft werden. So ausgebildet, wie bei den Landpflanzen, ist aber das Leitungssystem für Wasser vielfach noch nicht, und solche Formen müssen sich, trotzdem sie direkt im Wasser stehen, doch vor zu großer Wasserabgabe schützen, weil an heißen Tagen, besonders bei gleichzeitig herrschenden trockenen Winden nicht so viel Wasser durch die Leitungsbahnen zugeführt werden könnte, als verdunstet wird. Daher zeigt sich die merkwürdige Erscheinung, daß gerade bei Sumpfpflanzen häufig Einrichtungen zu treffen sind, wie sie bei typischen Xerophyten zum Schutz gegen zu große Wasserabgabe sich finden. Freilich kommt dazu auch noch die Tatsache, daß die Sumpfpflanzen nicht immer an Standorten vorkommen, die das ganze Jahr hindurch gleichmäßig Feuchtigkeit besitzen; viele Sümpfe trocknen in der heißen Jahreszeit aus, und das nicht so ausgiebig entwickelte Wurzelsystem würde den Anforderungen in bezug auf Wasseraufnahme nicht entsprechen können, wenn nicht gleichzeitig eine xerophile Struktur vorhanden wäre. So finden sich bei *Andromeda polifolia*, bei *Ledum palustre* und vielen anderen Bewohnern unserer Hochmoore ausgesprochen xerophile Einrichtungen.

Wesentlich anders gestalten sich die Verhältnisse, wenn der Wasserreichtum den Pflanzen nicht durch den lokalen Standort in sonst trockenem oder mäßig feuchtem Klima, sondern durch große Luftfeuchtigkeit oder große Niederschlags-

mengen geboten wird. Beides ist allerdings gewöhnlich miteinander verbunden, aber auch da sind Unterschiede vorhanden.

Gebiete mit großen Niederschlagsmengen finden sich hauptsächlich in den Tropen; hier kann in wenig Tagen mehr Regen fallen, als bei uns das ganze Jahr hindurch, und diese Niederschlagsmengen haben natürlich auch einen beträchtlichen Einfluß auf Form und Bau der Pflanzen gewonnen. Aber die Niederschläge sind in den verschiedenen Gebieten auch nicht gleichartig über das ganze Jahr verteilt, in dem einen wechseln Regenperioden mit ausgesprochenen oder weniger hervortretenden Trockenperioden ab, in dem andern herrscht so gut wie das ganze Jahr hindurch Regenzeit. In dem ersteren müssen sich die an große Feuchtigkeit gewöhnten Pflanzen mehr oder weniger auch auf trockene Perioden gefaßt machen, in dem letzteren haben sie das nicht nötig, und demgemäß wird auch die Einrichtung der Pflanzen diesen Verhältnissen gegenüber recht verschieden sein. In Gegenden mit regelmäßig das ganze Jahr hindurch fallenden reichlichen Niederschlägen brauchen die Pflanzen keinen Schutz gegen zu große Wasserabgabe, da hier nicht nur das verdunstete Wasser immer wieder sehr rasch ersetzt werden kann, sondern die große Luftfeuchtigkeit auch überhaupt keine so große Transpiration zuläßt, als dies in der trockenen Zeit in Gegenden mit wechselnder Niederschlagsmenge der Fall ist.

Die Luftfeuchtigkeit selbst spielt natürlich in bezug auf die Transpiration eine sehr große Rolle für die Pflanzen. Die Luft kann bekanntlich sehr verschiedene Mengen Wasserdampf enthalten und die Mengen, die sie überhaupt aufzunehmen imstande ist, wechseln sehr beträchtlich nach der Temperatur. Nun ist aber weniger der absolute Wassergehalt der Luft, d. h. die jeweils tatsächlich vorhandene Wassermenge in der Luft für die Transpiration von Bedeutung, als vielmehr die relative Luftfeuchtigkeit, d. h. das Verhältnis der tatsächlich vorhandenen zu derjenigen, die die Luft bei einer bestimmten Temperatur überhaupt aufzunehmen vermag. Denn im allgemeinen liegt die absolute Luftfeuchtigkeit weit unter dem Sättigungspunkt, und nur dann, wenn sich beide nähern, kann man von feuchter Luft sprechen.

In feuchter Luft ist aber natürlich die Transpiration geringer, weil die Luft eben nur noch beschränkte Mengen Wasserdampf aufzunehmen vermag und dies um so langsamer geschieht, je mehr sich der Wassergehalt dem Sättigungspunkt nähert. Pflanzen in Gebieten mit konstant großer Luftfeuchtigkeit werden deshalb ebenso wie solche in Gebieten mit fortwährend großen Niederschlagsmengen, auch wenn beide nicht zusammenfallen, keine besonderen Schutzmaßregeln gegen zu große Wasserverdunstung brauchen, und auch die Leitungsbahnen werden für Wasser weniger in Anspruch genommen, da der Transpirationsstrom ja nur ein geringer sein kann. Solche Pflanzen werden aber, plötzlich trockener Luft ausgesetzt, ebenso schnell verwelken, wie es bei Wasserpflanzen der Fall ist.

In der Tat brauchen auch große konstante Luftfeuchtigkeit und große gleichmäßig das ganze Jahr hindurch fallende Niederschlagsmengen nicht immer vereint zu sein. Ohne auf die klimatische Verschiedenheit der einzelnen Gebiete an dieser Stelle einzugehen, sei nur darauf hingewiesen, daß in engen, von einem

Wildbach durchtosten Schluchten das ganze Jahr hindurch eine fast wasser-gesättigte Luft herrscht, auch wenn ringsum die Sonne den Erdboden zu Pulver verbrannt hat. Solche Schluchten beherbergen denn auch gewöhnlich eine ganz charakteristische Flora, feuchtigkeitsliebende Farne und Moose, besonders viele zarte Lebermoose, die in wenigen Minuten verwelken, wenn sie aus der Schlucht in die trockene Luft der Umgebung gebracht werden. Eine ganze Familie der Farne, die Hymenophyllaceen, sind solchen Standorten angepaßt, und ihr einziger deutscher Vertreter, das *Hymenophyllum tunbridgense*, kommt nur in engen feuchten Schluchten der Sächsischen Schweiz und der Luxemburger Gegend zwischen Moosen vor. Der anatomische Bau der Blätter zeigt schon die Schutzlosigkeit gegenüber Trockenheit; die Blattlamina besteht aus einer einzigen Zellschicht ohne schützende Oberhaut, die sonst allen andern Farnen und höheren

Pflanzen zukommt. Ihre Hauptverbreitung finden die Hymenophyllaceen in den feuchten schattigen Tropenwäldern, wo sie teils als Epiphyten an den Baumstämmen sitzen, teils in üppiger Entwicklung die Felsen enger schattiger Schluchten überziehen.



Fig. 106. *Hymenophyllum tunbridgense*. Natürliche Größe

Freilich besitzen auch die meisten Pflanzen ein ziemlich hohes Anpassungsvermögen an trockene oder feuchte Luft, aber der Wechsel darf kein zu plötzlicher, schroffer sein. Eher vermag noch eine an trockene Luft gewöhnte Pflanze sich in feuchter zu erhalten, wenn sie auch anfangs mitunter kümmernd, als umgekehrt, denn dann tritt die ungewohnte große Wasserabgabe mit ihren schädlichen Folgen hervor. Das erleben wir beispielsweise so häufig an den in Gärtnereien gekauften, für das Zimmer bestimmten Blumenstöcken. Mögen sie noch so frisch und gesund ausgesehen haben, im Zimmer hängen sie bald

Blätter und Blütenköpfchen, als wenn sie unter Heimweh nach ihrem früheren Wohnort zu leiden hätten.

Sie sind im Gewächshaus mit seiner feuchtschwülen Luft aufgewachsen, sind unter Einwirkung von Wärme und Feuchtigkeit möglichst rasch getrieben um in kürzester Zeit verkaufsfähig zu sein und vermögen dann in der gewöhnlich, besonders im Winter sehr trockenen Zimmerluft der stärkeren Verdunstung keinen Widerstand entgegenzusetzen. Häufiges Abbrausen mit nicht zu kaltem Wasser, Schutz vor direkter Sonnenbestrahlung oder Aufenthalt in einem frostfreien aber nicht geheizten Raum vermögen die Pflanze oft zu retten. Alle Mittel, wodurch die Transpiration herabgesetzt wird, zeigen sich wirksam; durch das häufige Abbrausen wird eine feuchtigkeitsgesättigte Atmosphäre um die Pflanze wenigstens für kurze Zeit hergestellt, die Pflanze vermag aus dem Boden, während sie weniger verdunstet, genügend Wasser aufzunehmen, um die schlaff gewordenen Zellen wieder zu füllen, und wenn das Abbrausen oft genug und lange genug wiederholt wird, mag sich die Pflanze vielleicht allmählich an das Zimmer gewöhnen. Meist aber geschieht dies nicht mehr mit den alten noch aus dem Treib-

haus stammenden Blättern, diese sind nur in seltenen Fällen noch imstande, sich den veränderten Bedingungen anzupassen und gehen gewöhnlich doch über kurz oder lang zugrunde. Dagegen vermag man sie oft wenigstens so lange zu erhalten, bis sich neue Blätter entwickelt haben, die dann den veränderten Verhältnissen entsprechend gebaut sind und die Lebensfunktionen der absterbenden übernehmen. Nicht selten aber nutzen alle Vorsichtsmaßregeln nichts, die Blätter welken oder fallen doch bald ab, ebenso noch unentwickelte Blüten oder Knospen, ehe sie zur Entfaltung kommen. Auch dies ist vielfach eine Schutzmaßregel der Pflanze; sie wirft die hauptsächlich verdunstenden Organe, die unter den veränderten Verhältnissen nichts nutzen, sondern nur dem Gesamtorganismus durch zu große Wasserentziehung schaden, ab, um sich selbst zu erhalten und neue Blätter zu entfalten, die den neuen Lebensbedingungen besser entsprechen. Freilich bedeutet aber in vielen Fällen das Verwelken und Abfallen der Blätter den Tod der Pflanze; sie war nicht imstande durch Änderung ihrer Organisation rechtzeitig der Änderung der Lebensbedingungen Rechnung zu tragen.

Der hohe Feuchtigkeitsgehalt der Luft ermöglicht auch vielen Pflanzen noch dort das Leben, wo die ungleichmäßige Verteilung der Niederschläge oder ihre geringe Menge das sonst unmöglich machen würde. Da sind beispielsweise die Steinflechten in erster Linie zu nennen, die sich im dürrn Sonnenbrand wochenlang ohne Regen am Leben erhalten, weil ihnen die starke Abkühlung in der Nacht und die damit zusammenhängende größere relative Feuchtigkeit der Luft ermöglicht, aus letzterer Wasser in beträchtlichen Mengen aufzunehmen. Man kann sich davon leicht überzeugen, wenn man eine solche staubtrockene Flechte vom Felsen ablöst und zusammen mit einem Bausch angefeuchteter Watte so unter ein umgestülptes Glas legt, daß die Flechte nicht direkt mit der Feuchtigkeit der Watte in Berührung kommt. Die Watte gibt einen Teil der Feuchtigkeit durch Verdunstung an die Luft ab, so daß diese unter dem Glase nahezu den Sättigungspunkt erreicht. Ebenso vermag aber die Flechte aus feuchter Luft Wasser aufzunehmen, und es dauert gar nicht lange, bis sie lederartig zäh geworden ist, ja bis man aus ihr bei starkem Zusammenpressen selbst ein Tröpfchen Feuchtigkeit herausdrücken kann.

Ähnlich verhalten sich viele Moose, aber auch manche höhere Pflanzen, wenngleich bei diesen oft nur scheinbar eine Wasseraufnahme durch die oberen Organe stattfindet. Wenn nach einem heißen trockenen Sommertag Kartoffeln und Rüben ihre Blätter welk herabhängen lassen, weil sie in der Sonnenglut mehr Wasser verdunsteten, als die Wurzeln zuführen konnten, so richten sich die Blätter während der Abendkühle, sobald Tau gefallen ist, sehr bald wieder auf. Das liegt aber nicht daran, daß der Tau von den Blättern aufgenommen wird, sondern daran, daß die Pflanzen in der mit Wasser gesättigten und unter den Taupunkt abgekühlten Luft kein Wasser mehr verdunsten, wohl aber solches noch durch die Wurzeln aufnehmen. Das vorhandene Defizit wird so rasch wieder ergänzt, daß sich oft schon nach Verlauf einer halben Stunde nach Sonnenuntergang alle Zellen wieder straff mit Wasser gefüllt und die Blätter aufgerichtet haben. Bleibt der Tau aber aus, bleibt also der Unterschied zwischen absoluter

Feuchtigkeit und Sättigungspunkt ein großer, wie das in unsern Gegenden bei andauernd heißem, trockenem Wetter nicht selten eintritt, so erholen sich die Pflanzen nicht über Nacht und hängen auch am Morgen noch ihre Blätter welk herab.

Die Aufnahme von tropfbar flüssigem Wasser ist überhaupt durchaus nicht allgemein unter den Pflanzen verbreitet, während jedenfalls von den weitaus meisten Wasser aus dampfgesättigter Luft durch die Spaltöffnungen aufgenommen werden kann. Schon die Unbenetzbarkeit der Oberfläche der Blätter durch Wasser verhindert eine Aufnahme desselben, während es in Gasform ungehindert durch die Spaltöffnungen eintreten kann. Bringt man ein Stück irgendeines möglichst durchsichtigen Blattes in einem Tropfen Wasser zwischen Deckgläschen und Objektträger unter das Mikroskop, so sieht man, daß zwischen den Schließzellen und über denselben eine Luftblase den Eintritt des Wassers verhindert. Ein Strauß von Feldblumen, den man auf einem Sommerspaziergange gepflückt hat, und der gewöhnlich mehr oder weniger verwelkt zu Hause anlangt, erholt sich sogar etwas rascher, wenn man ihn in Fließpapier oder ein paar Lagen Leinwand einhüllt und diese gründlich naß macht, als wenn man ihn ganz in Wasser untergetaucht stehen läßt. Die am Grunde des Stengels vertrockneten und zum Teil mit Luft gefüllten Zellen und Gefäße verhindern zunächst das Aufsteigen des Wassers durch den Stengel, durch die Blätter dringt tropfbar flüssiges Wasser, wie wir gesehen haben, in der Regel nicht ein, und die Luftblase, welche sich am Eingang der Spaltöffnungen findet, hindert einen freien lebhaften Gasaustausch, wenn sie gleich selbst mit Wasserdampf gesättigt ist und ihrerseits fortwährend Wasserdampf nach innen zu abgibt. In dem von nassem Fließpapier oder nasser Leinwand umhüllten Strauß sättigt sich die Luft sehr rasch mit Wasserdämpfen und kann durch die Spaltöffnungen in sehr viel lebhafterem Strome eindringen und mehr Wasserdampf einführen, als dies bei einem stagnierenden, wenn auch feuchtigkeitgesättigten Luftpfropfen möglich ist.

Manche Pflanzen nehmen zwar nicht mit ihren lebenden Zellen tropfbar flüssiges Wasser direkt auf, wohl aber mit abgestorbenen Elementen, die zum Teil wenigstens direkt zu diesem Zwecke gebildet werden. Ein ganz typisches Beispiel dafür ist das Torfmoos (*Sphagnum*) welches in großer Artenzahl überall in Hochmooren und kalkfreien nassen Stellen unserer Wälder vorkommt. Die Blätter bestehen aus zweierlei völlig voneinander verschiedenen Zellen, sehr großen, farblosen, tonnenförmig gewölbten und kleinen dazwischenliegenden chorophyllgrünen. Die ersteren sind abgestorben, haben keinen lebenden Inhalt mehr, sind durch innere spiral- oder ringförmige Verdickungsleisten ausgesteift, so daß sie nicht zusammenklappen können; außerdem besitzen sie kleinere oder größere Öffnungen, Poren, durch welche sie mit der Außenwelt in Verbindung stehen. Die kleinen grünen Zellen stehen allein den lebenden und assimilierenden Teil des Blattes dar. Bei Regen oder starkem Tau füllen sich nun die großen, farblosen Zellen des Blattes mit Wasser und geben dieses durch die Membran hindurch allmählich an die grünen Zellen ab. Sie verdunsten freilich sobald die Sonne steigt auch beträchtliche Mengen, aber doch viel weniger, als wenn das Wasser sich

nur oberflächlich zwischen den dichtgedrängten Torfmoosstengeln halten würde, denn der größere Teil der Wassermassen ist ja durch die Membran vor Verdunstung geschützt und nur durch die Poren vermögen größere Mengen Wasserdampf zu entweichen. Eine ganz ähnliche Einrichtung besitzt das in polsterförmigen Rasen wachsende *Leucobryum glaucum*, welches in trockenen Wäldern auf Sandboden, besonders in Kieferwäldern eines der gemeinsten Moose ist.

Einrichtungen zum Auffangen und Aufspeichern tropfbar flüssiger Niederschläge besitzen auch viele epiphytische Pflanzen der Tropen in ihren Luftwurzeln. Diese sind außen nicht selten mit einem schwammigen aber toten Gewebe umgeben, welches sich bei Tau oder Regen mit Wasser füllt und dieses an das lebende Gewebe der Wurzel abgibt. Die Epiphyten sind ja ausschließlich auf das Wasser der Niederschläge angewiesen, da ihre Wurzeln normalerweise nicht den Erdboden erreichen und sie der Pflanze, an der sie wachsen, kein Wasser entziehen, höchstens das, was sich von Niederschlägen in den Vertiefungen der Rinde sammelt. Das Wasserbedürfnis der Epiphyten ist aber ein dauerndes, während die Niederschläge doch auch in den regenreichsten Gebieten mit mehr oder weniger langen Unterbrechungen fallen. Da sind nun diese Wasserspeicher für sie eine unbedingt notwendige Einrichtung, die ihnen gestattet, von dem Überfluß während der Niederschläge einen hinreichenden Vorrat für die trockene Tageszeit zurückzulegen.

Aber auch unter terrestrischen Formen gibt es manche Pflanzen, welche imstande sind, sich den Tau direkt nutzbar zu machen; es sind dies namentlich Pflanzen in Gebieten mit geringen und nur an bestimmte Jahreszeiten gebundenen Niederschlägen aber großen Taumengen. In den heißen Ländern, wenigstens in denen, die sehr hohe Tagestemperaturen und niedrige Nachttemperaturen haben, fällt eine ungleich größere Menge Tau als bei uns. Die dabei sich niederschlagenden Wassermassen sind so groß, daß sich aus Blechgefäßen, von Blechkoffern usw., die nicht unter dem Zeltdach standen, daß Tauwasser abgießen läßt. Von den Zeltdächern tropft der Tau wie bei einem gelinden Regen herunter. Allerdings dauert diese Feuchtigkeit nicht lange, wenn erst die Sonne aufgegangen ist, die heißen Strahlen führen die überflüssigen Wassermassen sehr bald wieder der Luft zu, aber manche Pflanze hat sich reichlich satt trinken können und vermag nun den heißen Tag zu überstehen. Besonders sind es Wüsten- und Steppenpflanzen, welche das Vermögen besitzen, sich den gefallenen Tau

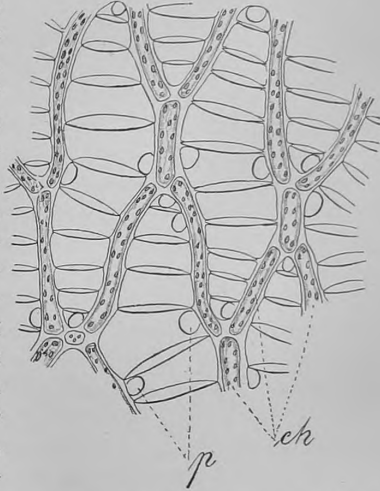


Fig. 107. Teil eines Blattes von einem *Sphagnum*, mäßig stark vergrößert. ch chlorophyllhaltige Zellen zwischen den großen Luft- resp. Wasser führenden, in denen an den Außenwänden Poren (p) zu sehen sind

nutzbar zu machen und sich so noch zu einer Zeit am Leben zu erhalten, wenn die Wurzeln längst kein Wasser aus dem ausgetrockneten Boden herbeizuschaffen vermögen.

Auch die Taumengen sind in derselben Gegend in den verschiedenen Jahreszeiten sehr verschieden. Meist wird mit Annäherung an die Regenzeit die Luftfeuchtigkeit größer und damit auch die Taumengen. Schon Wochen vor dem ersten Regenfall nehmen die Taumengen beispielsweise in den Steppen Ostafrikas so zu, daß sich diese mit zartem frischem Grün bedecken. Das wäre nicht möglich, wenn nicht die großen Taumengen von den Steppengräsern nutzbar gemacht werden könnten. Und das muß zum größeren Teil durch andere Organe als die Wurzeln geschehen, denn diese stecken noch in dem völlig ausgebrannten Boden, wohin der gefallene Tau nicht reicht.

Weit mehr als durch den Tau wird aber die Feuchtigkeit eines Gebietes durch die Regenmengen bedingt, und man unterscheidet da immerfeuchte und Gebiete mit ausgeprägten Trockenperioden. Obwohl auch in den ersteren fast stets ein Unterschied der einzelnen Jahreszeiten in bezug auf die Niederschlagsmenge vorhanden ist, kommt es doch niemals zu einer wirklichen Trockenzeit, denn auch die niederschlagsärmere Jahreszeit hat mehr oder weniger reichliche Regenfälle. In den Gebieten mit ausgesprochenen Trockenzeiten kommen aber stets mehr oder weniger lange völlig regenlose Perioden vor, die auf das Leben der Pflanzen einen um so größeren Einfluß haben, je heißer gleichzeitig das Klima des Gebietes ist.

In der Tat ist der Unterschied zwischen immerfeuchten Gebieten und solchen mit ausgesprochener Trockenheit am größten in den Tropen; die ersteren sind gekennzeichnet durch die immergrünen tropischen Regenwälder, die letzteren durch mehr oder weniger lichte Wälder und Buschwälder mit laubabwerfenden Gehölzen oder durch ausgedehnte Grasfluren, die stellenweise durch Gebüsch unterbrochen sind. Da eine scharfe Grenze zwischen solchen Gebieten nicht existiert, trägt die Flora bald mehr den Charakter der ersteren, bald mehr der letzteren, je nachdem sich das Klima durch kürzere oder längere Trockenzeiten auszeichnet.

Das Gebiet der tropischen Regenwälder umfaßt hauptsächlich die Sunda-inseln, Philippinen, Molukken, Neuguinea und die anschließenden Inseln, die Nordostküste von Südamerika, Zanzibar, Madagaskar und einige Teile des afrikanischen Festlandes, besonders auch an den Abhängen des Kamerungebirges. In den meisten Fällen ist der tropische Regenwald gleichzeitig noch Urwald, oder er ist doch wieder zu Urwald geworden, wo einst menschliche Kultur Lichtungen für den Bau irgendwelcher Pflanzen geschaffen und wieder verlassen hat. Denn rasch ergreift der Wald wieder Besitz von solchen Stellen, und wenige Jahre genügen bei dem üppigen Wachstum, um alle Spuren menschlicher Tätigkeit wieder zu verwischen.

Die große Feuchtigkeit der tropischen Regenwälder, die nicht nur quantitativ eine ungeheurere im Vergleich zu der unserer Gegend ist — fallen doch an manchen Orten bis 400 cm Regen im Jahre — sondern auch annähernd

gleichmäßig das ganze Jahr hindurch den Pflanzen zur Verfügung steht, läßt im Verein mit der hohen Temperatur ein überaus üppiges Wachstum sich entwickeln. Aber trotz dieser gleichartigen Bedingungen ähneln sich die tropischen Regenwälder verschiedener Gegenden durchaus nicht immer; meist zeigen sie allerdings eine außergewöhnliche Dichtigkeit bis zum Grunde, ein Durchdringen durch die weglosen, tausendfältig verschlungenen und ineinandergewachsenen Pflanzenmassen ist oft nur dadurch möglich, daß Axt und Messer vorher Bahn brechen. Vom Boden an bis in die Wipfel der Baumriesen herrscht ein reiches, immer wechselndes Pflanzenleben in allen Schattierungen vom fahlen Graugrün und Braun bis zum dunkelsten Schwarzgrün, hin und wieder unterbrochen durch leuchtende Blütenfarben der zahlreichen Epiphyten, die sich in allen Höhen und in unendlicher Mannigfaltigkeit an den Baumstämmen entwickeln.

Aber der Genuß an dem reizvollen Bilde solcher Urwaldvegetation wird nicht nur durch die oft fast unüberwindliche Schwierigkeit des Eindringens getrübt, sondern auch mancherlei tückische Eigenschaften der Urwaldbewohner machen sich bald unliebsam bemerkbar. Ganz abgesehen von dem tierischen Leben, das auch nicht immer dem eindringenden Forscher in Form von farbenprächtigen Faltern entgegentritt, zeigen manche Pflanzen ihre Wehrhaftigkeit auf recht unangenehme Weise. Lange Ranken mit mächtigen, rückwärts gebogenen Dornen sperren überall den Weg, oder Brennpflanzen, deren Berührung sich oft noch nach Tagen recht schmerzhaft in Erinnerung bringt, und die oft ganz unschuldig aussehen, wachsen mitunter in so dichten und ausgedehnten Gesellschaften, daß sie nicht umgangen werden können. Kurz, was das Auge entzückt, ist nicht immer für andere Sinne gleich herrlich.

Im Gegensatz zu diesen lichtereren und in bezug auf die Vegetation viel mannigfaltigeren Regenwäldern kommen auch, wiewohl seltener, Gegenden vor, in denen der Wald am Grunde fast frei von Vegetation ist. Die schlanken Stämme tragen wie mächtige Säulen ein undurchdringliches Laubdach, welches kaum so viel Licht durchläßt, daß sich einige genügsame lichtscheue Farne und Moose am Grunde entwickeln können. Eintönig dehnen sich die düsteren Säulenhallen nach allen Richtungen aus, zwar bequemer zu durchwandern, aber auch entblößt von den zauberhaften Reizen, die das Auge in der anderen Form des Urwaldes entzücken.

Und doch sind sich beide Formen nicht so unähnlich, wie sie zuerst dem Auge erscheinen; in beiden ist es die äußerste Ausnutzung des Lichtes, welche die große Verschiedenheit des Aussehens bedingt. Bei lichterem Stande der mächtigen Stämme kommt Licht genug auf den Boden, um auch hier noch eine üppige Vegetation zur Entfaltung zu bringen, bei dichterem Stande können sich die eigentlichen Lebensprozesse der Pflanzen nur in den Baumkronen abspielen. Hier können sich die Epiphyten nur in den Wipfeln entwickeln und tragen nur dazu bei, die Dunkelheit am Grunde des Urwaldes zu vermehren und den Pflanzenwuchs zu unterdrücken, in den lichtereren Wäldern dagegen sind die Stämme vom Boden bis zum Wipfel mit unzähligen und unendlich verschiedenen Epiphyten bekleidet, und doch bleibt noch so viel Licht, daß sich auch noch eine üppige Bodenflora entwickeln kann.

In den lichterem tropischen Regenwäldern ist es gerade vornehmlich die enorme Masse der verschiedenartigsten epiphytischen Gewächse, die dem Bilde einen so hohen Reiz verleiht, und diese für uns so fremdartige Form der Vegetation ist nur durch den Überfluß an Feuchtigkeit möglich. Die Einwirkung der letzteren ist oft so groß, daß manche Pflanzen ihre Wurzeln ganz verlieren, oder selbst zu Assimilationsorganen umwandeln, weil sie ihrer zur Wasseraufnahme gar nicht bedürfen. Aber auch Pflanzen, die sonst im allgemeinen keinen epiphytischen Charakter zeigen, werden unter dem Einfluß des feuchten Klimas zu Epiphyten. So leben in den Regenwäldern um Buitenzorg auf Java und auch im Kamerungebirge zahlreiche Algenarten auf Pflanzenblättern. Viele dieser Algen gehören allerdings Gattungen an, die, wie *Trentepholia*, auch sonst Luftpflanzen sind. Kommen doch auch bei uns eine Anzahl hierher gehörige Arten auf Baumrinden (z. B. *Trentepholia abietina* und *umbrina*) oder auf Felsen vor, wie das bekannte Veilchenmoos (*Trentepholia Jolithus*). Aber erstens wachsen diese Arten auch bei uns nur in der feuchteren Luft der Gebirge und zweitens bilden sie doch nur verschwindende Vegetationen gegenüber ihren Verwandten in den tropischen Wäldern. Hier treten aber nicht nur viel zahlreichere Arten, sondern auch ganz neue Gattungen unter den Luftalgen auf, selbst Cyanophyceen, die bei uns nur an feuchten Felsen oder feuchten Gewächshauswänden außerhalb des Wassers vorkommen. Besonders auffallend ist namentlich gegenüber dem Vorkommen der Luftalgen bei uns, daß sie sich in den tropischen Regenwäldern direkt auf den Blattflächen entwickeln. Das ist nur in einer sehr feuchten Luft möglich und bei reichlichen, ohne lange Pausen fallenden Niederschlägen, denn von den glatten Blättern läuft der Regen bald ab.

Ähnlich wie Algen, nehmen auch Flechten an der Besiedlung von Blättern teil. Das sind freilich Pflanzen, die auch bei uns zu einem großen Teil Rindenbewohner, also Epiphyten sind, aber auf Blättern kommen sie auch nicht vor. Natürlich sind auch Pilze nicht fern, wenn sich überhaupt niedere Kryptogamen irgendwo entwickeln. Alle diese Pflanzenvegetationen sind zwar sehr charakteristisch für die Lebensverhältnisse im tropischen Urwalde mit seiner epiphytischen Vegetation, aber sie fallen mehr dem Forscher auf, während das Bild des tropischen Regenwaldes für den Laien hauptsächlich durch die unzähligen Farne, Orchideen und ähnliche höhere Pflanzen, als Epiphyten, und besonders auch durch die zahlreichen Lianen sein eigenartiges Gepräge erhält. Das sind Pflanzenformen, die den gemäßigten Klimaten fast völlig fehlen.

Die immergrünen Regenwälder greifen stellenweise weit über die Tropen in die gemäßigten Zonen hinüber, aber die Zusammensetzung der Flora wird dann allmählig eine andere, einförmigere. Die Lianen treten in bezug auf Formenreichtum mehr und mehr zurück, ebenso die stattlichen Epiphyten, Farne und Orchideen werden ärmer an Arten, und zwischen den Holzgewächsen mit immergrünem Laub treten auch solche auf, die in der kälteren Jahreszeit ihre Blätter verlieren. Denn je weiter vom Tropengürtel entfernt, desto mehr macht sich der Unterschied der Jahreszeiten bemerkbar, desto häufiger werden sich laubabwerfende Holzpflanzen einstellen, die nicht wegen Wassermangel, sondern wegen der

Temperaturverhältnisse im Winter unbelaubt sind. Noch weiter nördlich geht der Regenwald oft allmählich und unmerklich in die laubabwerfenden Wälder der gemäßigten Zone über, indem die immergrünen Formen immer mehr zurücktreten und den laubabwerfenden Platz machen. Allerdings ist hier die immer niedriger werdende Temperatur des Winters die Hauptursache, aber auch die Feuchtigkeitsverhältnisse spielen eine beträchtliche Rolle, denn je weiter von den tropischen Gebieten entfernt, desto geringer werden auch im allgemeinen die Niederschlagsmengen. Gleichzeitig tritt dann aber noch die niedrige Temperatur des Bodens im Winter hinzu, die zeitweise, trotz vorhandener Feuchtigkeit, eine Aufnahme derselben durch die Wurzeln nicht gestattet; es ist ja bekannt, daß nur bei einer genügenden Bodentemperatur die Wurzeltätigkeit in ausgiebigem Maße möglich ist. Deshalb wird mit zunehmendem Unterschied zwischen Sommer und Winter die Zahl der laubabwerfenden Holzgewächse größer trotz hinreichender Niederschlagsmengen. Aber diese werden im Winter den Pflanzen nicht in demselben Maße zuteil, wie in den tropischen Gebieten, und wenn auch die Verdunstung in der kühleren Jahreszeit ebenfalls herabgesetzt ist, so wird dabei doch oft mehr Wasser verbraucht, als die schlafenden Wurzeln liefern können; die hauptsächlichsten Organe der Verdunstung, die Blätter müssen deshalb im Winter fallen.

Bleiben aber die Blätter im Winter, so zeigen sie doch bereits den Einfluß, den irgendwelche Schutzeinrichtungen gegen zu große Wasserabgabe in der Struktur des Blattes hervorbringen. Gegenüber den Blättern im tropischen Regenwald sind sie durchschnittlich kleiner, mit dickerer Kutikula bekleidet, oft lederartig, ja selbst mitunter mit wasserspeichernden Geweben versehen. Von den Epiphyten gehen hauptsächlich solche Arten in die Regenwälder der gemäßigten Zone über, die in den Tropen auch zeitweilige Trockenperioden ertragen können, während die der tropischen Regenwälder fehlen. Neue Formen treten in der Regel nicht auf, und wenn auch die Individuenzahl meist nicht sehr merklich zurückgeht, sondern solche Regenwälder in den subtropischen und südlichen gemäßigten Gebieten ebenso reiche und üppige Vegetation zeigen als in den Tropen, so hat doch die Zahl der Arten merklich abgenommen.

Weit größer als das Gebiet der tropischen Regenwälder ist das der Wälder mit ausgeprägten Trockenperioden. Auch hier sind vielfach noch sehr üppige Vegetationen vorhanden; es treten noch Lianen und Epiphyten auf, aber alle Pflanzen tragen einen durchaus abweichenden Charakter, alle sind mehr oder weniger Xerophyten und den während trockener Zeiten von ihnen zu ertragenden Verhältnissen angepaßt. Während in den immerfeuchten tropischen Wäldern laubabwerfende Holzgewächse zu den Seltenheiten gehören, treten sie in Gebieten mit Trockenperioden in den Vordergrund, und um so mehr, je länger und schärfer ausgeprägt diese Trockenperioden werden. Aber nicht der Winter, die kalte Jahreszeit veranlaßt den Laubabfall, sondern umgekehrt der Sommer, also die heiße, aber auch gleichzeitig regenlose, trockene Periode. Hier tritt uns die Erscheinung der sommerdürren Wälder entgegen, Laubhölzer, die eine Sommerruhe haben, deren Vegetationszeit mit der Regenperiode, der kühleren unserem Winter entsprechenden

Jahreszeit beginnt. Nicht bloß die schon in einem früheren Kapitel erwähnten Caatingas Brasiliens, sondern auch die Buschsteppen Ostafrikas, die den größten Teil unseres Kolonialbesitzes bedecken, und vieler anderer ausgedehnter Gebiete gehören hierher.

Auch hier vollzieht sich oft ein ganz allmählicher Übergang, wo immerfeuchte Gebiete an solche mit ausgesprochenen Trockenperioden stoßen, denn selbstverständlich sind keine scharfen Grenzen zwischen beiden gezogen. Auch die Dauer der Trockenperioden prägt sich im Charakter der Wälder aus; je länger und je weniger von einzelnen Regenfällen durchbrochen die Trockenzeit ist, desto mehr löst sich der geschlossene Wald auf, die hohen Stämme werden seltener, immer häufiger werden niedrige Bäume und Gebüsche, und wo einzelne höhere Bäume stehen, zeigen sie in eigentümlicher Weise flach ausgebreitete, schirmförmige Kronen. Dazwischen tritt zuerst spärlich, später immer dichter und zusammenhängender Graswuchs auf, und schließlich geht der Wald in die nur hin und wieder von Bäumen oder Büschen besetzten tropischen Grasfluren, die Savannen, über. Lokale Verschiedenheiten spielen dabei eine beträchtliche Rolle. Eine Bodensenkung zeigt stets etwas größere Feuchtigkeit und wird deshalb mehr zur Waldbildung neigen; auf den trockenen Erhebungen treten die Holzpflanzen zurück und die reine Savanne beginnt zu herrschen.

Je weiter vom Tropengürtel, desto mehr machen sich auch noch die Wirkungen von Sommer und Winter bemerkbar; in den subtropischen Gebieten ist dieser Unterschied noch weniger auffallend, in Breiten über 40° aber setzt überall eine Unterbrechung der Vegetation durch den Winter ein, obgleich hier Gebiete mit ausgesprochenen Trockenzeiten immer seltener werden. Die Menge der Niederschläge wird zwar geringer, aber sie verteilen sich über das ganze Jahr, und wenn auch in einzelnen Jahreszeiten mehr Regen fällt, so fehlt er doch auch nicht den andern. Die Regenmengen allerdings sind in den einzelnen Gebieten sehr verschieden, und dieser Unterschied bestimmt zu einem großen Teil die Vegetation, ob Wald, Steppe oder Wüste sich entwickelt.

Nicht überall freilich ist gerade in den kalt gemäßigten Gebieten die ursprüngliche Vegetation noch zu erkennen, denn gerade hier hat die menschliche Tätigkeit die größten Veränderungen der Flora durch Urbarmachung und Bebauung des Bodens bewirkt. Aber in manchen ausgedehnten Wäldern ist doch noch der ursprüngliche Charakter ziemlich erhalten, oder es ist bekannt, wie sie vor der Besiedelung durch den Menschen beschaffen waren. So in Nordamerika, das an der Ostküste ganz andere Vegetationsverhältnisse besitzt als in der Mitte und hier wieder andere als an der Westküste. An der Ostküste fallen 1000–1200 mm Regen jährlich, und zwar mit einer mehr oder weniger deutlich ausgesprochenen Periode der Sommerregen. Westlich vom Mississippi sinkt die Menge der Niederschläge auf die Hälfte; die Winter sind trocken, der Frühling und der Anfang des Sommers naß. Zwischen Felsengebirge und Sierra Nevada werden die Niederschläge noch spärlicher, kaum 300 mm und die Sommerregen fehlen oft ganz. Nach dem stillen Ozean hebt sich die Niederschlagsmenge wieder und beträgt im nördlichen Teil der pazifischen Staaten gegen 1000, in

den südlichen gegen 500 mm jährlich. Dabei ist der Winter die feuchteste Jahreszeit, der Sommer bei weitem trockener, um so regenärmer je weiter nach Süden. Die feuchten Küstenländer am Atlantischen Ozean haben deshalb auch ursprünglich einen ausgedehnten Waldbestand gehabt, der jetzt freilich größtenteils verwüstet ist. Weiter nach Westen zu mit der Abnahme der Niederschläge und dem Auftreten der trockenen Winter mischen sich Wälder mit Grasfluren, und jenseits des Mississippi dehnt sich die baumlose Grassteppe, die Prärie aus. Auch diese ist noch verschieden; im Osten üppig und dicht mit Gräsern bestanden, wird sie mit der Abnahme der Niederschläge nach Westen zu immer dürrtiger und trockener. Die von steilen Felsmassen oder trockenen Hügeln besetzte Hochebene zwischen Felsengebirgen und Sierra Nevada besitzt mehr oder weniger ausgesprochenen Wüstencharakter, ja schon die südlichen Abhänge des Felsengebirges gehen teilweise in ausgedehnte fast vegetationslose Wüsten über, wie die berühmte Llano Estacado östlich vom Rio Pecos. Noch weiter nach Westen beginnt wieder die Einwirkung der größeren Niederschlagsmengen; lichte Wälder, die nach Norden zu immer dichter werden, decken die Hänge der Gebirge und steigen bis zur Meeresküste herab.

Freilich tragen zu dieser Verteilung der Vegetation lokal auch die Bodenverhältnisse bei; aber auf so großen Flächen, wie die zwischen den atlantischen und pazifischen Ufern der Vereinigten Staaten können sie den Gesamtcharakter nicht beeinflussen.

Auch im europäischen Rußland zeigen sich zwischen Süden und Norden gewaltige Verschiedenheiten, die durch die Feuchtigkeitsverhältnisse bedingt sind. Der Norden hat nicht nur reichlichere Niederschläge, sondern auch im Winter vorherrschend westliche Winde mit feuchter Luft, der Süden dagegen ist niederschlagsärmer und besitzt gerade im Winter austrocknende östliche Winde. Trockene Luft im Winter schadet den Bäumen, die keine Feuchtigkeit aus dem kalten Boden beziehen können, aber mehr, als den Gräsern, deren oberirdische verdunstende Organe im Winter abgestorben sind. Der Norden ist deshalb Waldland, der Süden Steppe. Je weiter nach Osten, desto ärmer wird die Steppe, bis sie schließlich fast Wüstencharakter annimmt.

Im hohen Norden tritt der Wald zurück, kalte Winde und trockene Luft hindern den Baumwuchs vollständig. Die arme Flora der Polarländer beschränkt sich außer auf Moose, Flechten und Algen auf wenige Blütenpflanzen, die niedrig an den Boden gedrückt wachsen und die kurze Vegetationszeit in den kühlen Sommermonaten rasch durchleben müssen, um Samen zu bringen. Zwar fallen hier die Niederschläge das ganze Jahr, aber im kalten Winter sind sie als Schnee den Pflanzen nicht nutzbar, und der gefrorene Boden liefert oft noch lange den Wurzeln kein Wasser, wenn schon der Schnee darüber weggeschmolzen oder vom Sturm fortgeweht ist. Die Wirkung der Feuchtigkeitsverhältnisse tritt auch hier hervor; weniger die hohen Kältegrade im Winter, die in den Waldgebieten Sibiriens oft noch viel höher liegen, als vielmehr die meist sehr trockene Luft im Winter hindert das Aufkommen von Gehölzpflanzen, nur niedrige kriechende Weiden (*Salix reticulata*, *arctica* u. a.), einige Zwergbirken, *Ledum*

palustre kommen noch fort, wo günstige Verhältnisse vorliegen; aber an den unwirtlichen Stellen fehlen auch diese, und es dehnt sich die baum- und strauchlose Tundra, die Wüste des Nordens aus, die nur noch Flechten und Moose trägt und stellenweise in gänzlich vegetationslose Einöden übergeht. Die Wirkung von Feuchtigkeit und Trockenheit tritt hier zurück vor dem Mangel an Wärme.

Wenden wir uns noch einmal zu den feuchten Tropengebieten zurück, so finden wir mancherlei Eigentümlichkeiten an Pflanzen, die mit der übergroßen Feuchtigkeit zusammenhängen. Die Blätter müssen einen Schutz dagegen haben, daß sich die Feuchtigkeit auf ihnen ansammelt, denn sonst würden sie bald mit einem Heer von Epiphyten überzogen sein; Algen und Flechten würden die Blattfläche bald so bedecken, daß diese ihre vornehmste Aufgabe, die Assimilation, nicht mehr erfüllen könnte, weil ihr das Licht durch die Epiphyten geraubt wird. Einen gewissen Schutz besitzen ja die Blätter schon in ihrer Unbenetzbarkeit für Wasser, aber bei ihrer verschiedenen Lage würden sich doch häufig genug auf ihrer Oberfläche kleine Wasseransammlungen bilden, die bei dem raschen Wachstum in den Tropen schon in kurzer Zeit eine üppige Algenflora beherbergen würden, und ist erst einmal eine solche Ansiedlung erfolgt, so nutzt auch das Verschwinden des Wassertropfens nichts mehr; die Algen entwickeln sich bei der feuchten Luft weiter und halten bei dem nächsten Regen zwischen ihren Verzweigungen erst recht das Wasser fest.

Da zeigt sich nun, daß in solchen tropischen Regenwäldern, in denen die Gefahr der Überwucherung durch Epiphyten den Blättern droht, diese letzteren meist keine wagerechte Stellung, sondern eine schräge, oft fast senkrechte einnehmen. Da muß das Wasser natürlich rascher ablaufen. Ferner wirkt auch vielfach die eigenartige Nervatur der Blätter mit, die auf der Oberfläche vertieft ist und so ein System von Rinnen bildet, die das Abfließen des Wassers ebenfalls befördern. Schließlich kommt es noch zur Ausbildung der sogenannten *Träufelspitzen*, d. h. lang ausgezogene, herabhängende Blattspitzen, an denen das Wasser leicht herabläuft und abtropft, so daß es sich auch nicht am Blattrande halten kann.

Auch gegen die Gewalt der in den Tropen oft recht großen und schwer aufschlagenden Regentropfen schützt die schräge Stellung der Blätter, da die Tropfen oder Hagelkörner dann nicht senkrecht mit voller Wucht auf die Blätter aufprasseln, sondern schräg an ihnen abgleiten. Einen Schutz gegen solche schwere Regenfälle oder gegen Hagel besitzen auch die durch Berührung reizbaren Pflanzen, wie besonders die Mimosen, viele Akazien und Oxalisarten.

Bei den ersten Regentropfen klappen sie ihre Blättchen zusammen und senken sie abwärts, so daß nicht nur die angreifbare Oberfläche wesentlich verringert wird, sondern durch die schräg abwärts gerichteten Blattstiele und Blättchen sich die Gewalt des Aufschlagens der Regentropfen wesentlich vermindert.

Eine eigentümliche Form der Vegetation in den Tropen mag hier noch erwähnt werden, obgleich sie nicht eigentlich mit Niederschlagsmengen in Verbindung steht, sondern mit dem periodischen Wechsel der Feuchtigkeit, wie sie

durch Ebbe und Flut bewirkt wird. Es sind die Mangrovewälder an den Mündungen der Tropenflüsse. Hier liegen die Bedingungen für die Entwicklung einer Vegetation ganz anders als auf dem Festlande oder an den von der Brandung des Meeres direkt getroffenen Küsten. An den letzteren fehlt, soweit Ebbe und Flut reichen, die Vegetation fast stets vollständig oder ist nur durch Algen vertreten. In den geschützteren Buchten an den Mündungen der Flüsse fehlt die Brandung, und die Gewalt von Ebbe und Flut ist gebrochen, so daß sie den sich ansiedelnden Pflanzen nicht mehr in gleichem Grade wie an den ungeschützten Küsten gefährlich wird. Aber der Wechsel von Ebbe und Flut bedingt einen fortwährenden Wechsel im Wasserstande um mehrere Meter, der nicht von allen Pflanzen vertragen wird. Niedrige Pflanzen würden einen großen Teil des Tages vom Wasser völlig bedeckt sein und mit ihrem Laub den Strömungen bei Ebbe und Flut eine zu große Angriffsfläche bieten. Dazu kommt, daß der zur Ebbezeit vom Wasser unbedeckte Grund ein weicher schwarzer Schlamm ist, der nicht nur ein Festwurzeln der Bäume bei seiner Flüssigkeit erschwert, sondern auch wegen der fortwährend in ihm vor sich gehenden Zersetzungsprozesse sehr sauerstoffarm ist. Die Pflanzen, die sich an solchen Flußmündungen ansiedeln, müssen sich also an recht verschiedene Lebensbedingungen gewöhnt haben, um sich entwickeln zu können, und das ist in der Tat bei einer Gruppe von Holzgewächsen der Fall, die man unter dem Namen *Mangrove* zusammenfaßt.

Die typischen Vertreter des Mangrovewaldes sind die Arten der Gattung *Rhizophora*, unter denen wieder *Rh. Mangle* und *Rh. mucronata* die bekanntesten und verbreitetsten sind. Schon die Art und Weise, wie sich die junge Pflanze entwickelt, ist ganz abweichend und den Eigentümlichkeiten des Standortes angepaßt. Die Samen fallen nämlich nicht von der fruchttragenden Pflanze ab, sondern keimen an dieser und entwickeln sich zu einem keulenförmigen $\frac{1}{2}$ m und darüber langen Keimling, der erst dann abfällt und sich mit dem unteren dickeren Ende in den weichen Schlamm einbohrt. Sobald er den Schlamm erreicht hat, treibt er mit außergewöhnlicher Schnelligkeit Wurzeln, die ihn oft schon nach wenigen Stunden in dem Schlamm festhalten, so daß er in den meisten Fällen vor dem Fortschwemmen durch die Ebbe- und Flutströmungen gesichert ist. Diese Wurzeln wachsen immer tiefer in den Schlamm und verankern die Pflanze immer fester, aber sie heben sie gleichzeitig immer höher über den Schlamm heraus. Bei weiterer Entwicklung entsenden die über den ursprünglichen Wurzeln gebildeten Teile des jungen Stammes immer weiter Wurzeln, die sich in weiten Bogen in den Schlamm einbohren und immer mehr zur Hebung der Pflanze über den Schlammboden beitragen. Schließlich stehen die nicht besonders hohen *Rhizophora*-Stämmchen auf einem System eigentümlicher Stelzwurzeln, so hoch über dem Flutstand, daß die Laubkrone darüber herausragt, zur Ebbezeit aber auch das ganze Wurzelwerk sichtbar wird.

So vermag die *Rhizophora* einmal selbst in dem weichen Schlamm der Flußmündungen sich festzuhalten und der Gewalt der Gezeitenströmungen Widerstand zu leisten, dann aber auch frühzeitig die Assimilationsorgane über die Flut-

grenze zu erheben. Die Stelzwurzeln besorgen in ihren oberen, zur Ebbezeit freiliegenden Teilen die Aufnahme von Sauerstoff, der nach den im Schlamm steckenden Wurzelteilen, denen der Sauerstoff fehlt, fortgeleitet wird. Andere Bewohner der Mangrovewälder, denen die Stelzwurzeln fehlen, vermögen sich nicht so weit in das Bereich von Ebbe und Flut hinauszuwagen, sie sind der Gewalt der Gezeitenströmung weniger gewachsen und würden fortgeschwemmt werden. Anders eigentümlichen Verhältnissen ihres Standortes sind sie aber ebenfalls gut angepaßt. Das Sauerstoffbedürfnis der im Schlamm steckenden Wurzeln wird durch im Einzelnen sehr verschiedenartig gebildete Atemorgane (Pneumatophoren) befriedigt, die über den Schlamm hinausgetrieben werden und zur Ebbezeit freiliegen.

Je weiter vom Strande, desto weniger macht sich in den Flußmündungen die Gezeitenströmung bemerkbar und desto mehr andere Arten können in Wettbewerb mit den typischen Mangrovehölzern treten. Allmählich geht dann auch der Mangrovwald in den tropischen Urwald über. Auch der größere oder geringere Salzgehalt des Wassers spielt eine große Rolle; reines Salzwasser vermögen nur sehr wenige Mangroven zu vertragen, vielleicht nur einige Rhizophoraarten, je mehr sich aber das Meerwasser mit dem Flußwasser mischt, desto mehr Arten beteiligen sich an der Zusammensetzung der typischen Mangrovewälder.

VI. KAPITEL

Einfluß verschiedener Lichtmengen

Die Pflanzen brauchen für einen ihrer wichtigsten Lebensprozesse, für die Assimilation, nicht unbeträchtliche Lichtmengen; der chemischen Tätigkeit, welche die Lichtstrahlen in den Pflanzenzellen leisten, verdankt alle organische Substanz ihre unmittelbare oder mittelbare Entstehung. Nur im Licht kann die grüne Pflanze sich entwickeln und gedeihen, aber die Lichtmengen selbst, mit der die einzelnen Arten auskommen können, sind sehr verschieden. Auch hier hat sich eine Anpassung an verschiedene Lichtintensitäten vollzogen und wir können zwischen Licht- und Schattenpflanzen unterscheiden.

Da überall, wo Klima und Bodenverhältnisse es gestatten, eine mehr oder weniger dichte Pflanzendecke vorhanden ist, wird die dem einzelnen Individuum zugemessene Lichtmenge oft recht knapp sein, und die Pflanzen sind darauf angewiesen, diese Lichtmenge nach Möglichkeit auszunützen. Das geschieht nun zunächst ganz allgemein schon durch die Stellung der Blätter, die den einfallenden Lichtstrahlen die breite Fläche zukehren, also so viel Licht als möglich auffangen. Auch die verschiedenartigen heliotropischen Krümmungen, deren noch wachsende Pflanzenorgane fähig sind, haben die Aufgabe, diese Organe in eine möglichst günstige Lage zum Licht zu bringen. Ist diese Lage erreicht, so hört die Krümmung auf, die Organe nehmen eine dauernde gleichmäßige Lage ein, aus welcher sie nur gewaltsam entfernt werden können (z. B. die fixe Lichtlage der Blätter).

Größere Pflanzen werden schon an verschiedenen Punkten ihres Körpers sehr verschiedene Lichtmengen empfangen, die Belaubung der oberen Zweige hindert schon einen Teil des Lichtes zu den tieferstehenden Blättern zu dringen. Direktes Sonnenlicht wird die letzteren oft überhaupt nicht mehr treffen, sondern nur zerstreutes Tageslicht. Übt nun das Licht einen formbestimmenden Einfluß auf Pflanzen- und Pflanzenorgane aus, so muß derselbe an den verschieden intensiv beleuchteten Blättern ein und derselben Pflanze erkennbar sein, und dies ist in der Tat der Fall. Man kann Schattenblätter und Lichtblätter in der Regel sehr gut voneinander unterscheiden. Betrachtet man z. B. die Blätter der Rotbuche, so wird man die größten Verschiedenheiten in Form und Farbe finden, je nachdem sie im grellen Sonnenlicht oder im tiefsten Schatten gewachsen sind. Die ersteren sind dunkelgrün, derb und dick, viel kleiner als die im Schatten gewachsenen hellgrünen, dünnen und zarten. Auch der anatomische Bau zeigt gewisse Verschiedenheiten; das Gewebe der Lichtblätter ist straffer und es liegt oft eine Schicht chlorophyllführender Zellen mehr über den andern, denn das intensive Sonnenlicht kann tiefer eindringen und noch in tieferen Schichten die Assimilationstätigkeit erregen, als zerstreutes Tageslicht. Blätter, die nur von letzterem getroffen werden, zeigen deshalb nur lockere und weniger tief übereinanderlagernde Zellschichten, denn die inneren Schichten würden doch kein genügendes Licht mehr erhalten.

Was sich an den Licht- und Schattenblättern ein und derselben Pflanze zeigt, läßt sich auch je nach dem schattigen oder besonnten Standort an ganzen Individuen wiederfinden, alle im Schatten entwickelten Pflanzen haben größere dünnere, alle im Sonnenlicht gewachsenen kleinere und derbere Blätter. Bis zu einem gewissen Grade gilt das auch für lichtliebende und schattenliebende Pflanzenarten.

Das Lichtbedürfnis der einzelnen Arten ist nämlich ein sehr verschiedenes, manche vertragen nicht die geringste Beschattung, andere wieder können nicht im direkten Sonnenlicht gedeihen, die einen haben sich an intensive Beleuchtung, die andern an Lichtarmut angepaßt, ausgenutzt wird aber das Licht, wo nur irgendeine Möglichkeit dazu vorhanden ist. Gerade der Kampf um das Licht ist einer der erbittertsten im Leben der Pflanze, er führt alljährlich zum Tode ungezählter Pflanzenleben. Er ist es auch, der in unseren Forsten im geschlossenen Bestände den großen Höhenwuchs und die schlanken geraden Stämme bedingt;

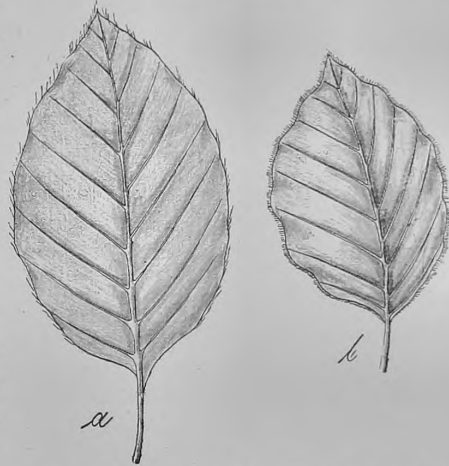
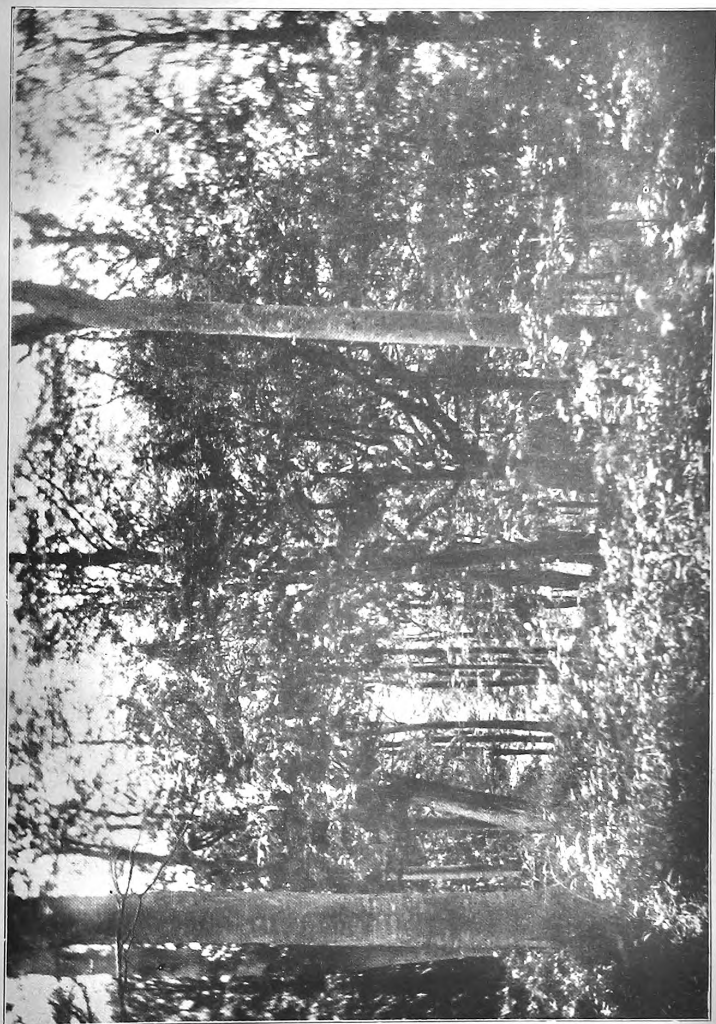


Fig. 108. Buchenblätter, *a* im Schatten, *b* im Licht entwickelt

jeder einzelne Baum möchte so viel Licht als möglich für sich auffangen und sich deshalb über seine Geschwister erheben, und aus diesem gleichsinnigen Streben geht das gleichmäßig starke Höhenwachstum in Verbindung mit der Bildung schlanker geradschäftiger Stämme in den geschlossenen Beständen hervor. Bäume, die von Anfang an frei stehen, erreichen in der gleichen Zeit bei weitem nicht denselben Höhenwuchs, werden aber weit dicker und bleiben tiefer herab beastet.

Allmählich macht sich aber in geschlossenen Beständen ein Zurückbleiben einzelner Bäume bemerklich, und sind sie erst einmal mit ihrem Wipfel unter das Niveau herabgesunken, so sind sie auch dem Schicksal verfallen, sie werden immer weniger organische Stoffe produzieren können und deshalb immer weniger Körpersubstanz aufbauen, ihr Wachstum wird immer geringer, wie das ihnen noch zufallende Licht, bis sie schließlich nicht mehr imstande sind, die für die Lebensunterhaltung nötigen Stoffe zu produzieren und eingehen. Aber auch die andern Stämme leiden unter der Konkurrenz bei zu dichtem Bestande. Nicht die Ernährung und die Wasserzufuhr, sondern in erster Linie der Lichtmangel ist es, der in solchen dichten Beständen eine Verminderung der gesunden Entwicklung herbeiführt und eine „Durchforstung“ derselben nötig macht, bei der einen Holzart früher, bei der andern später. Denn auch unsere Waldbäume sind in sehr verschiedenem Grade lichtbedürftig, und es läßt sich beispielsweise bei den Nadelhölzern eine ganze Skala aufstellen. Am meisten Licht braucht von unsern heimischen Nadelhölzern die Kiefer, deshalb muß sie, namentlich in älteren Beständen ziemlich locker stehen, licht gestellt sein, um sich genügend zu entwickeln. Das Höhenwachstum ist dann allerdings gering, dafür nimmt sie aber noch reichlich im Durchmesser zu. Auch die Lärche braucht viel Licht; mit etwas weniger ist die Fichte, namentlich in der Jugend, zufrieden, und man findet deshalb sehr gut gedeihende so dicht geschlossene Fichtenbestände, daß kein Sonnenstrahl unter ihnen den Boden berühren kann. Kein anderer Baum vermag die eigenartige Stimmung des tiefsten Waldesdunkels so in uns zu erwecken, als die Fichte in dichten geschlossenen Beständen. Kein Strauch, kein Gras findet unter den schattenspendenden Zweigen dichter Fichtenbestände noch Licht genug, um sich zu entwickeln, der Boden ist kahl, nur von dem weichen Polster abgefallener Nadeln bedeckt.

Noch mehr Schatten, als die Fichte, verträgt die Tanne, obwohl sie selbst nicht in demselben Maße den Boden beschattet. Ihre weniger dicht benadelten und anders gestellten Zweige lassen auch noch in dichterem Bestande Licht zur Erde kommen, so daß sich eine beschränkte Bodenflora entwickeln kann. Die geringere Lichtbedürftigkeit der Tanne bringt es auch mit sich, daß bei ihr eine Art des Betriebes angewendet werden kann, der bei der Kiefer ganz unmöglich und bei der Fichte jedenfalls nicht besonders geeignet ist, die sogenannte natürliche Verjüngung. Aus den ausgefallenen Samen der Mutterpflanze gehen bei Kiefer, Fichte und Tanne junge Pflänzchen auf, aber nur bei der Tanne wachsen sie nach und nach, hinreichend lichten Bestand vorausgesetzt, in die Lücken zwischen den älteren Bäumen hinein und gedeihen trotz der Beschattung durch die älteren größeren Bäume sehr gut. Sie vertragen eben beträchtliche



Über 800 Jahre alte Eiben im Ibengarten in der Rhön



Beschattung. Die jungen Fichten entwickeln sich in solchen Beständen zwar auch eine Zeitlang, zeigen aber meist irgendwelche Verkümmierungen und wollen nicht recht in die Höhe. Gelingt es ihnen dann auch wirklich einmal, einen Anlauf zum Höhenwachstum zu nehmen, so gehen sie doch meist einige Jahre später ein. Nur bei noch sehr viel lichter Stellung würde eine natürliche Verjüngung bei der Fichte Erfolg haben. Die lichtbedürftige Kiefer geht noch viel rascher zugrunde, und die jungen Keimpflänzchen erleben oft kaum das Ende der ersten Vegetationsperiode. Deshalb sieht man in älteren Tannenwäldern stets, in Fichtenwäldern wenigstens häufig, in Kiefernwäldern fast niemals jungen Nachwuchs, wenn auch der Boden von anderen Pflanzenarten bedeckt ist.

Am meisten Schatten verträgt unter den Nadelhölzern die Eibe, ein Baum, der in Deutschland, abgesehen von Gärten und Parkanlagen, immer seltener wird und sich auch anscheinend nicht mehr von selbst vermehrt. Der größte Bestand an Eiben befindet sich wohl in dem sogenannten Ibengarten in der Rhön unweit Dermbach; dort existieren noch mehrere hundert mächtige Eiben, deren Alter annähernd 800 bis 1000 Jahre zählen mag. Dieser berühmte Eibenwald enttäuscht freilich den, der glaubt, die Eiben stünden da in ähnlicher Weise zusammen wie etwa die Fichten in einem anderen Forst. Sie stehen da vielmehr sehr zerstreut unter Buchenhochwald, und selbst die großen Eibenstämme werden trotz ansehnlicher Dicke kaum eine Höhe von 10 m erreichen. (Tafel 3.) Aber fremdartig muten die dunklen Pflanzengestalten unter dem lichten Buchenlaub an, und man begreift, daß die Eibe, ganz abgesehen von ihrer Giftwirkung, einen geheimnisvollen Zauber auf das empfängliche Gemüt unserer Vorfahren ausüben konnte. Der Buchenbestand in dem Eibenwald hat vielmals gewechselt, die Eiben sind geblieben und haben manche Generation der Laubhölzer um sich entstehen und vergehen sehen.

Der niedere Wuchs der Eibe läßt es von vornherein erklärlich erscheinen, daß sie eine Schattenpflanze ist und von jeher eine Art Unterholz unter den höheren Waldbäumen gebildet hat, wie dies noch jetzt in dem Ibengarten der Fall ist. Daß aus Samen erzogene Pflanzen, die von früher Jugend auf an intensivere Belichtung gewöhnt sind, auch in direktem Sonnenbrand gedeihen können, ist begreiflich, besonders, wenn es sich um Gartenformen handelt, die schon Generationen hindurch an einen ihnen ursprünglich nicht zusagenden Standort gewöhnt sind, da ja alle Pflanzen ein hohes Anpassungsvermögen besitzen. Der Bau der Taxusblätter weist aber schon darauf hin, daß er nicht an sonnigen Standorten zu Hause ist und weniger als irgendeine andere unserer Nadelholzarten starke Belichtung verträgt. Die Nadeln sind von allen unseren Koniferen am zartesten gebaut, besitzen keine harten sklerenchymatischen Zellen, wie sie den Nadeln anderer eigen sind, und wie sie sich im allgemeinen um so stärker entwickelt finden, je mehr an starke Belichtung ein Nadelholz angepaßt ist. Auch andere Eigentümlichkeiten, deren Erörterung an dieser Stelle zu weit führen würde, weisen die Taxusnadeln zu den Schattenblättern.

Man hat gerade in dem Ibengarten bei Dermbach einmal den Versuch gemacht, die Eiben etwas lichter zu stellen, indem man die gar zu viel Schatten spendenden

Buchen an einigen Stellen fortnahm. Die Folge davon war, daß die lichter gestellten Eiben gelbliche Nadeln bekamen und zu kränkeln anfangen, bis sie durch den Buchennachwuchs wieder ihre Beschattung erhielten. Das wäre ja nun allerdings noch kein Beweis dafür, daß die Eibe von Natur eine Schattenpflanze ist, denn das geht andern Pflanzen, die im Schatten erwachsen sind und plötzlich freigestellt werden, in ganz ähnlicher Weise. Aber es zeigt doch, daß wenigstens

die dort lebenden Eiben vollständig

Schattenpflanzen sind, und da die Eiben wohl stets denselben Wuchs und dieselben Standorte gehabt haben, so werden sie auch wohl stets ausgesprochene Schattenpflanzen gewesen sein.

Die plötzliche Belichtung von Pflanzen, die vorher im Schatten gewachsen sind, hat für diese stets unangenehme Folgen und kann selbst den Tod herbeiführen. Hand in Hand mit der äußeren Verschiedenheit zwischen Licht- und Schattenblättern geht nämlich auch eine innerer; zu große Lichtmengen können ein darauf nicht ein-

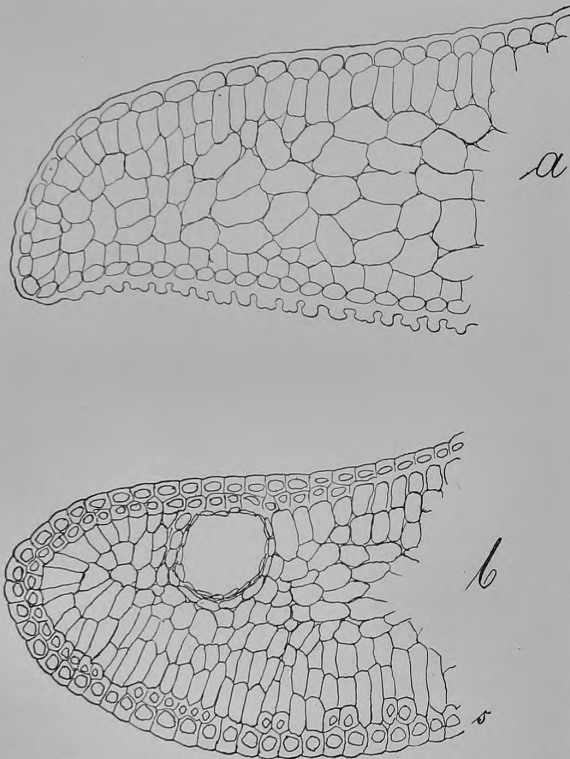


Fig. 109. *a* Teil eines Querschnittes durch eine *Taxus*nadel; *b* Teil eines Querschnittes durch eine Nadel von *Abies Nordmanniana*; *s* Sclerenchymsschicht

gerichtetes Blatt sehr rasch zum Absterben bringen. Es ist übrigens nicht bloß die starke Lichtintensität, sondern auch die damit verbundene erhöhte Erwärmung und die stärkere Verdunstung, die dem Blatte Gefahr bringen, beide Faktoren sind aber gewöhnlich gleichzeitig an der Schädigung beteiligt.

Zunächst zeigen sich Schattenblätter, wie erwähnt, einen zarteren Bau. Die Epidermis ist dünnwandiger, die Spaltöffnungen weniger geschützt oder zahlreicher, weil das Schattenblatt, um die organischen Prozesse aufrecht zu erhalten, ebenfalls viel Wasser verdunsten muß. Die Transpiration ist aber naturgemäß in der Sonne viel stärker als im Schatten, Schattenblätter müssen deshalb leichter Wasser

abgeben können als Lichtblätter. Kommt nun ein solches Schattenblatt plötzlich in direkte Besonnung, so wird die Transpiration plötzlich so gesteigert, daß nicht mehr genügend Wasser nachgeführt werden kann, es verwelkt und vertrocknet. Auch das Chlorophyll selbst leidet unter zu starker Bestrahlung und wird schließlich, wenn dieselbe zu lange anhält, mißfarbig, braun.

Nun besitzen allerdings sehr viele Pflanzen besondere Reguliervorrichtungen, um die Intensität der Bestrahlung zu mildern. Die eigenartigste und auffallendste finden wir bei den sogenannten Kompaßpflanzen, bei denen die Blätter dauernd eine solche Lage einnehmen, daß sie während der Zeit der intensivsten Lichtwirkung, also mittags, von den Sonnenstrahlen nur auf der schmalen Kante



Fig. 111. Phyllodium einer Akazie; an dem untersten Phyllodium sind an der Spitze noch die Fiederblättchen entwickelt

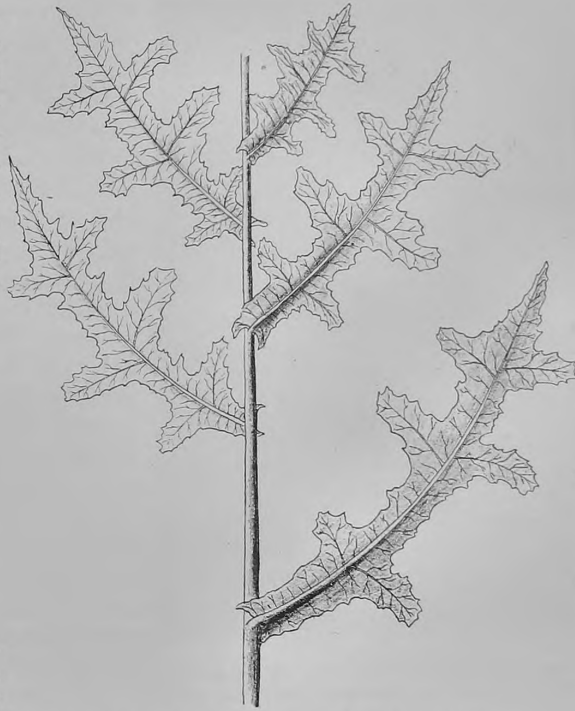


Fig. 110. *Lactuca Scariola* in der Ansicht von Osten

getroffen werden. Nur die Strahlen der aufgehenden und untergehenden Sonne treffen das Blatt senkrecht, je höher die Sonne steigt, je intensiver also ihre Leuchtkraft wird, desto schräger fallen die Strahlen auf die Blätter auf und desto weniger vermögen sie naturgemäß zu wirken. Die Blätter müssen also eine fixe Nordsüdlage haben, was unter unseren heimischen Pflanzen bei der sonnige Standorte bevorzugenden *Lactuca Scariola* der Fall ist. Andere Lactucaarten, z. B. *virosa* (Fig. 112), zeigen unter günstigen Verhältnissen ebenfalls eine gewisse Neigung, ihre Blätter in ähnlicher Weise zur Sonne zu stellen, wie *L. Scariola*, wenn auch niemals so ausgesprochen. In schattigen Lagen findet man übrigens auch bei der letzteren keine ausgeprägte Nordsüdstellung. Auch bei dem

südamerikanischen *Silphium laciniatum* ist eine solche Stellung der Blätter vorhanden. Bei manchen Pflanzen besonders in sonnigen regenarmen Gebieten sind die Blätter nicht ausgebildet, dafür aber die Blattstiele blattartig verbreitert; solche als Phyllodien bezeichnete Gebilde sind ebenfalls häufig ebenso gegen das Licht gestellt, wie die Blätter von *Lactuca Scariola*; auch Blätter vieler Myrtaceen und Proteaceen nehmen ähnliche Stellungen ein.

In anderen Fällen vermögen aber die Blätter selbst ihre Stellung je nach der Intensität der Beleuchtung zu ändern; sie stellen sich dann während der Zeit der intensivsten Strahlung so, daß die Sonnenstrahlen entweder nur die schmale Kante der Blätter treffen oder doch sehr schräg auffallen, so daß die Wirkung der Strahlen beträchtlich herabgemindert wird. Bei der überall angebauten und als Akazie bezeichneten Robinie (*Robinia Pseudacacia*) kann man das sehr leicht beobachten, ebenso bei verschiedenen Arten der ähnlichen *Gleditschia* (z. B. *Gleditschia triacanthos*); während sich die Blättchen morgens und nachmittags flach ausbreiten, um die Lichtstrahlen voll aufzunehmen, stellen sie sich den Strahlen der heißen Mittagssonne annähernd parallel. Sie spenden deshalb auch gerade dann am wenigsten Schatten, wenn man ihn am liebsten aufsucht, und die Bäume sehen in der Mittagszeit viel dünner belaubt aus als sonst.



Fig. 112. *Lactuca virosa* mit zum Teil nach der Richtung der Sonnenstrahlen eingestellten Blättern

Noch eine andere Einrichtung zum Schutze des Chlorophylls gegen zu intensive Bestrahlung haben sehr viele

Pflanzen, die allerdings äußerlich nicht sonderlich hervortritt. Die Chlorophyllkörner vermögen nämlich im Innern der Zelle zu wandern; bei mäßiger Beleuchtung liegen sie mit einer Breitseite den Zellwänden an, die senkrecht zu den einfallenden Lichtstrahlen stehen, werden also möglichst viel Licht aufnehmen. Bei zu intensiver Beleuchtung dagegen wandern sie an die Querwände und kehren nun den Lichtstrahlen die schmalen Seiten zu, decken sich außerdem zum Teil noch gegenseitig. Bei einer Süßwasseralge, *Mougeotia*, besteht der Chlorophyllapparat aus einer zentralen Platte, die die Zelle der Länge nach durchzieht; bei mäßiger Beleuchtung kehrt die Chlorophyllplatte den einfallenden Lichtstrahlen die Breitseite, bei intensiver Beleuchtung die schmale Seite zu.

Nicht bloß die Blätter, sondern auch andere lebende Organe der Pflanze sind an bestimmte Intensität der Strahlung angepaßt und leiden, wenn diese überschritten wird. Das ist der Fall bei Bäumen mit geringer Borkenbildung, die plötzlich, z. B. durch Freistellung, intensiverer Strahlung ausgesetzt sind. Auch hier ist es allerdings hauptsächlich eine Wärmewirkung, die schädlich ist, da sie aber unmittelbar mit der Sonnenstrahlung zusammenhängt, mag sie hier Erwähnung finden.

Freistehende Bäume schützen ihren Stamm vor zu intensiver Bestrahlung in zweierlei Weise: durch stärkere, dichtere, bis zum Boden herabreichende Bestattung, so daß der Stamm von der besonders heftig wirkenden Mittagssonne gar

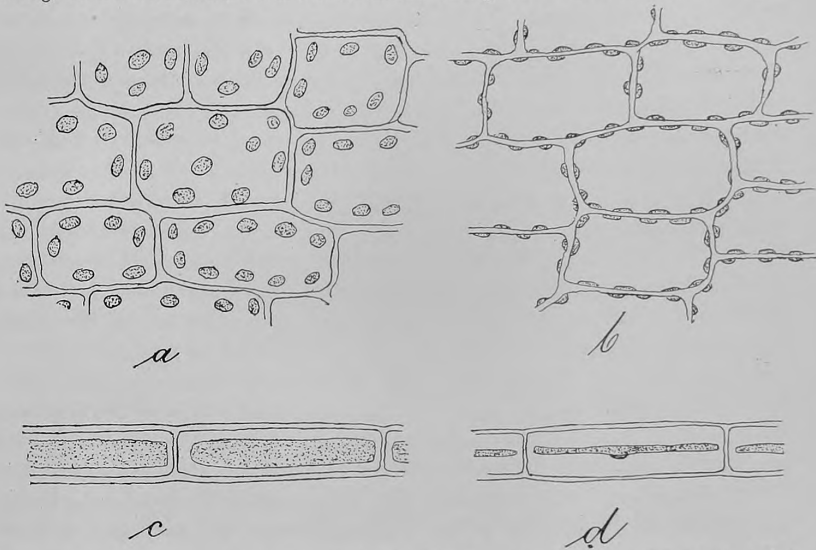


Fig. 113. Stellung der Chlorophyllkörner eines Laubblattes *a* bei diffusem Tageslicht, *b* bei intensivem Sonnenlicht. *c* Zellen von *Mougeotia* mit Flächenstellung der Chlorophyllplatte bei schwacher, *d* mit Kantenstellung bei starker Beleuchtung

nicht getroffen wird, und durch bestimmte Einrichtungen in dem anatomischen Bau der Rinde resp. Borke.

Die Birke beispielsweise, die überhaupt wegen ihrer großen Lichtbedürftigkeit nicht in dichtgeschlossenen Beständen wächst, also immer starker Sonnenstrahlung ausgesetzt ist, besitzt eine Borke, deren Zellen mit Luft gefüllt sind. Dadurch erscheint der Stamm weiß, und die weiße Farbe reflektiert bekanntlich das meiste Licht, nimmt nur wenig Strahlen auf, wird sich also auch nur wenig erwärmen, denn auch die dunklen Wärmestrahlen verhalten sich in dieser Beziehung ähnlich wie die leuchtenden Strahlen. Dazu kommt aber noch, daß die Luft gleichzeitig der schlechteste Wärmeleiter ist und deshalb die Wärme, die etwa in den obersten Schichten der Borke entsteht, nicht durch Leitung in die tieferen Schichten gelangen kann. Jede luftgefüllte Zelle der Borke stellt eine geschlossene Isolierschicht dar.

In anderen Fällen sind es hauptsächlich die sklerenchymatischen Elemente, die sich zum Schutz gegen zu starke Bestrahlung entwickeln. Es sind das sehr dickwandige, steinharte Zellen, auch direkt Steinzellen genannt, die sich beispielsweise in der Rinde der Rotbuche an der Sonnenseite in großer Anzahl entwickeln, während sie auf der Schattenseite zwar nicht vollständig fehlen, aber doch nicht besonders hervortreten. Sie enthalten selbst keinen lebenden Inhalt mehr, ihre dicken Membranen verhindern aber in hohem Grade das Eindringen der Strahlen.

Von vornherein in starker Belichtung erwachsene Bäume sind also gegen die schädliche Wirkung zu intensiver Bestrahlung ausreichend durch die eigene Belaubung und Beastung und durch den Bau der Rinde geschützt. Den in geschlossenen Bestände erwachsenen Bäumen fehlt aber beides. Die tieferstehenden Äste sterben immer weiter hinauf ab, weil ihre Blätter nicht mehr genügend Licht erhalten würden, und die im Schatten sich ausbildende Rinde besitzt keinen ausreichenden Schutz durch Sklerenchymzellen. Sind dann noch die Stämme mit einer dünnen Rinde versehen, ohne ausgiebige Borkenbildung, wie bei der Rotbuche oder der Tanne, so kann eine schwere Schädigung, die unter dem Namen Rindenbrand oder Sonnenbrand bekannt ist, eintreten, wenn der Stamm plötzlich intensiver Bestrahlung ausgesetzt wird. Das ist z. B. der Fall, wenn Bäume durch Fällen der benachbarten plötzlich freigestellt werden, bei Kahlhieben an der Grenze älterer Bestände.

Bewirkt wird der Rindenbrand durch die zu starke Erwärmung der lebenden Zellen der Rinde und besonders des Kambiums, also jener Schicht, von der aus das jährliche Dickenwachstum zustandekommt und welches das eigentliche der Entwicklung fähige Gewebe des Stammes ist. Stirbt dasselbe ab, so hört natürlich nicht nur die weitere Entwicklung an den abgestorbenen Stellen auf, sondern es findet auch an den kranken Stellen bald eine Besiedelung mit Parasiten statt, die schließlich das Leben des ganzen Baumes bedrohen, selbst wenn auf der Schattenseite das Kambium nicht gelitten hat. Der Tod der lebenden Zellen tritt bei Temperaturen zwischen 50 und 60° C ein, indem bei so hohen Wärmegraden eine teilweise Zersetzung der Eiweißstoffe des Protoplasmas und damit ein Erlöschen des Lebens stattfindet. So hohe Temperaturen vermögen aber nur ganz intensive Bestrahlungen hervorzurufen, wie sie in den Mittags- und besonders in den frühen Nachmittagsstunden, wenn die Sonne in Südwesten steht, stattfinden. Deshalb ist auch fast ausschließlich die Südwestseite der Bäume dem Rindenbrand ausgesetzt, und sie sind an dieser Seite besonders schutzbedürftig. Bäume mit starker Borkenbildung, wie Kiefer und Eiche, sind wenig empfindlich gegen starke Bestrahlung und haben deshalb auch weniger unter Rindenbrand zu leiden.

Der Mangel an Licht ist auch die Ursache, weshalb Pflanzen, die im Freien aufgewachsen sind, gewöhnlich nicht im Zimmer gedeihen wollen, auch wenn sie am Fenster gehalten werden. An sonnigen Tagen würde die Lichtmenge wohl ausreichen, nicht aber an bewölkten, denn die Lichtmenge, die ihnen durch das Fenster zukommt, ist natürlich viel geringer als die, welche ihnen im allgemeinen

in der freien Natur zur Verfügung steht. Je weiter vom Fenster weg, desto schwieriger gestaltet sich der Kampf ums Licht, und die sinnige Hausfrau, die ihr Zimmer so gern, besonders in dem lichtarmen Winter unserer nordischen Heimat, mit lebendigem Grün schmücken möchte, wird an ihren Pfleglingen trotz aller Fürsorge keine rechte Freude haben, wenn sie ihnen nicht gleichzeitig hinreichend Licht verschaffen kann.

Die meisten Pflanzen eignen sich ihrer Lichtbedürftigkeit wegen überhaupt nicht dazu, im Zimmer gezogen zu werden; es gibt aber doch auch einige, die sehr genügsam sind und deshalb nicht mit Unrecht als „Zimmerpflanzen“ bezeichnet werden. Das meiste in dieser Beziehung verträgt wohl die bekannte grüne Blatt-pflanze *Plectogyne*, die mit ihren großen dunkelgrünen, breitlanzettlichen Blättern selbst noch in dunklen Zimmerecken aushält.

Die merkwürdigste Anpassung an minimalste Lichtmengen zeigt der Vorkeim eines Höhlen, Grotten und enge schattige Gänge in Sandsteinfelsen bewohnenden Mooses, das unter dem Namen *Leuchtmoss* (*Schistostega osmundacea*) bekannt ist. Die Zellen liegen in flachen, oft ziemlich breiten, flächenartigen einschichtigen Zweigen, sind auf der Oberfläche konvex vorgewölbt und laufen nach unten etwas keilförmig zu. Die konvexe Oberfläche wirkt wie eine Sammellinse und wirft die spärlich einfallenden Licht-

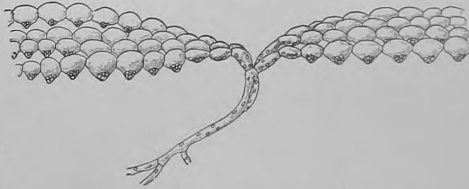


Fig. 114. Vorkeim des Leuchtmosses
Schistostega osmundacea

strahlen konzentrisch nach dem verschmälerten Grunde der Zelle, in welchem die Chlorophyllkörner gehäuft sind. Hier vermögen diese letzteren also eine Lichtmenge aufzunehmen, die sich ohne die sammelnde Wirkung der Oberfläche auf eine sehr viel größere Fläche verteilen würde, und der lange bleibende Vorkeim des Mooses vermag sich deshalb noch an Stellen zu entwickeln, die wegen Lichtmangels andern grünen Pflanzen verschlossen bleiben. Merkwürdig ist dabei, daß das von den Chlorophyllkörnern nicht absorbierte grüne Licht reflektiert wird und den von dem Vorkeim überzogenen dunklen Teil der Höhle mit einem matten prachtvoll smaragdgrünen Schimmer übergießt, ein Anblick, der bei einigermaßen großer Ausdehnung der Moosvegetation jedem unvergeßlich bleiben wird, der ihn einmal genossen hat. Unweit Karlsruhe bei Frauenalb im Schwarzwald befindet sich eine kleine unbedeutende Höhle im Sandstein (Küblerhöhle), die diese Erscheinung wenigstens in den ersten Jahren dieses Jahrhunderts in prachtvoller Weise zeigte.

Auch andere Moose können sich bis zu einem hohen Grade an sehr lichtarme Standorte anpassen; sie nehmen dabei auch gewöhnlich eine mehr oder weniger abweichende Gestalt an. Ein großer Teil der Arten ist überhaupt nur an schattigen Stellen zu finden, während wieder andere helle, selbst direkt sonnige Lage bevorzugen. Ein schattiger Laubwald beherbergt ganz andere Arten als eine sonnige junge Waldkultur, und mit dem Augenblick, wo der hundert-

In anderen Fällen sind es hauptsächlich die sklerenchymatischen Elemente, die sich zum Schutz gegen zu starke Bestrahlung entwickeln. Es sind das sehr dickwandige, steinharte Zellen, auch direkt Steinzellen genannt, die sich beispielsweise in der Rinde der Rotbuche an der Sonnenseite in großer Anzahl entwickeln, während sie auf der Schattenseite zwar nicht vollständig fehlen, aber doch nicht besonders hervortreten. Sie enthalten selbst keinen lebenden Inhalt mehr, ihre dicken Membranen verhindern aber in hohem Grade das Eindringen der Strahlen.

Von vornherein in starker Belichtung erwachsene Bäume sind also gegen die schädliche Wirkung zu intensiver Bestrahlung ausreichend durch die eigene Belaubung und Beastung und durch den Bau der Rinde geschützt. Den in geschlossenen Beständen erwachsenen Bäumen fehlt aber beides. Die tieferstehenden Äste sterben immer weiter hinauf ab, weil ihre Blätter nicht mehr genügend Licht erhalten würden, und die im Schatten sich ausbildende Rinde besitzt keinen ausreichenden Schutz durch Sklerenchymzellen. Sind dann noch die Stämme mit einer dünnen Rinde versehen, ohne ausgiebige Borkenbildung, wie bei der Rotbuche oder der Tanne, so kann eine schwere Schädigung, die unter dem Namen Rindenbrand oder Sonnenbrand bekannt ist, eintreten, wenn der Stamm plötzlich intensiver Bestrahlung ausgesetzt wird. Das ist z. B. der Fall, wenn Bäume durch Fällen der benachbarten plötzlich freigestellt werden, bei Kahlhieben an der Grenze älterer Bestände.

Bewirkt wird der Rindenbrand durch die zu starke Erwärmung der lebenden Zellen der Rinde und besonders des Kambiums, also jener Schicht, von der aus das jährliche Dickenwachstum zustandekommt und welches das eigentliche der Entwicklung fähige Gewebe des Stammes ist. Stirbt dasselbe ab, so hört natürlich nicht nur die weitere Entwicklung an den abgestorbenen Stellen auf, sondern es findet auch an den kranken Stellen bald eine Besiedelung mit Parasiten statt, die schließlich das Leben des ganzen Baumes bedrohen, selbst wenn auf der Schattenseite das Kambium nicht gelitten hat. Der Tod der lebenden Zellen tritt bei Temperaturen zwischen 50 und 60° C ein, indem bei so hohen Wärmegraden eine teilweise Zersetzung der Eiweißstoffe des Protoplasmas und damit ein Erlöschen des Lebens stattfindet. So hohe Temperaturen vermögen aber nur ganz intensive Bestrahlungen hervorzurufen, wie sie in den Mittags- und besonders in den frühen Nachmittagsstunden, wenn die Sonne in Südwesten steht, stattfinden. Deshalb ist auch fast ausschließlich die Südwestseite der Bäume dem Rindenbrand ausgesetzt, und sie sind an dieser Seite besonders schutzbedürftig. Bäume mit starker Borkenbildung, wie Kiefer und Eiche, sind wenig empfindlich gegen starke Bestrahlung und haben deshalb auch weniger unter Rindenbrand zu leiden.

Der Mangel an Licht ist auch die Ursache, weshalb Pflanzen, die im Freien aufgewachsen sind, gewöhnlich nicht im Zimmer gedeihen wollen, auch wenn sie am Fenster gehalten werden. An sonnigen Tagen würde die Lichtmenge wohl ausreichen, nicht aber an bewölkten, denn die Lichtmenge, die ihnen durch das Fenster zukommt, ist natürlich viel geringer als die, welche ihnen im allgemeinen

in der freien Natur zur Verfügung steht. Je weiter vom Fenster weg, desto schwieriger gestaltet sich der Kampf ums Licht, und die sinnige Hausfrau, die ihr Zimmer so gern, besonders in dem lichtarmen Winter unserer nordischen Heimat, mit lebendigem Grün schmücken möchte, wird an ihren Pflöglingen trotz aller Fürsorge keine rechte Freude haben, wenn sie ihnen nicht gleichzeitig hinreichend Licht verschaffen kann.

Die meisten Pflanzen eignen sich ihrer Lichtbedürftigkeit wegen überhaupt nicht dazu, im Zimmer gezogen zu werden; es gibt aber doch auch einige, die sehr genügsam sind und deshalb nicht mit Unrecht als „Zimmerpflanzen“ bezeichnet werden. Das meiste in dieser Beziehung verträgt wohl die bekannte grüne Blatt-pflanze *Plectogyne*, die mit ihren großen dunkelgrünen, breitlanzettlichen Blättern selbst noch in dunklen Zimmerecken aushält.

Die merkwürdigste Anpassung an minimalste Lichtmengen zeigt der Vorkeim eines Höhlen, Grotten und enge schattige Gänge in Sandsteinfelsen bewohnenden Mooses, das unter dem Namen *Leuchtmoss* (*Schistostega osmundacea*) bekannt ist. Die Zellen liegen in flachen, oft ziemlich breiten, flächenartigen einschichtigen Zweigen, sind auf der Oberfläche konvex vorgewölbt und laufen nach unten etwas keilförmig zu. Die konvexe Oberfläche wirkt wie eine Sammellinse und wirft die spärlich einfallenden Licht-

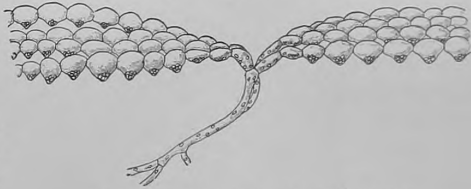


Fig. 114. Vorkeim des Leuchtmosses
Schistostega osmundacea

strahlen konzentrisch nach dem verschmälerten Grunde der Zelle, in welchem die Chlorophyllkörner gehäuft sind. Hier vermögen diese letzteren also eine Lichtmenge aufzunehmen, die sich ohne die sammelnde Wirkung der Oberfläche auf eine sehr viel größere Fläche verteilen würde, und der lange bleibende Vorkeim des Mooses vermag sich deshalb noch an Stellen zu entwickeln, die wegen Lichtmangels andern grünen Pflanzen verschlossen bleiben. Merkwürdig ist dabei, daß das von den Chlorophyllkörnern nicht absorbierte grüne Licht reflektiert wird und den von dem Vorkeim überzogenen dunklen Teil der Höhle mit einem matten prachtvoll smaragdgrünen Schimmer übergießt, ein Anblick, der bei einigermaßen großer Ausdehnung der Moosvegetation jedem unvergeßlich bleiben wird, der ihn einmal genossen hat. Unweit Karlsruhe bei Frauenalb im Schwarzwald befindet sich eine kleine unbedeutende Höhle im Sandstein (Küblerhöhle), die diese Erscheinung wenigstens in den ersten Jahren dieses Jahrhunderts in prachtvoller Weise zeigte.

Auch andere Moose können sich bis zu einem hohen Grade an sehr lichtarme Standorte anpassen; sie nehmen dabei auch gewöhnlich eine mehr oder weniger abweichende Gestalt an. Ein großer Teil der Arten ist überhaupt nur an schattigen Stellen zu finden, während wieder andere helle, selbst direkt sonnige Lage bevorzugen. Ein schattiger Laubwald beherbergt ganz andere Arten als eine sonnige junge Waldkultur, und mit dem Augenblick, wo der hundert-

jährige Hochwald der Axt zum Opfer fällt, schwindet auch die Moosflora, die sich da seit Jahrzehnten entwickelt, und macht andern Formen Platz. Auch diese bleiben nicht lange; mit zunehmendem Alter der Kultur bleibt eine nach der andern von den lichtliebenden Arten zurück, und dafür treten wieder die alten Schattenformen auf. So wirkt die Änderung der Lichtverhältnisse selbst fortwährend verändernd auf die Zusammensetzung der Bodendecke.

Besonders auffällig tritt die durch Änderung der Lichtintensität hervorgerufene Umgestaltung der Bodenflora bei Kahlhiebsen hervor. Auf solchen Schlagflächen, die vorher unter dem Dunkel des geschlossenen Fichtenwaldes kaum eine kümmerliche Moosvegetation hervorbrachten, stellt sich auf einmal ein üppiges Pflanzenleben ein, und zwar sind es immer bestimmte Arten, die von der neuen Besiedlungsfläche zuerst Besitz ergreifen. Man hat sie deshalb auch mit Recht „Schlag-

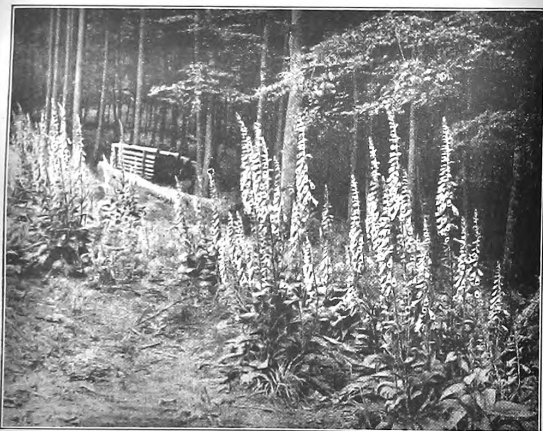


Fig. 115. Neue Ansiedelung des Fingerhutes auf einer Schlagfläche

pflanzen“ genannt, weil sie schon im ersten Jahre von den Schlagflächen Besitz ergreifen und sich im zweiten oft in einer Masse entwickeln, daß sie wie angesät erscheinen. Neben einer Anzahl Gräser, die später oft zu den lästigsten Unkräutern in den jungen Kulturen werden, sind es besonders Kreuzkraut (*Senecio silvaticus*), Weidenröschen (*Epilobium angustifolium*) und Fingerhut (*Digitalis purpurea*), die sich in den ersten Jahren auf solchen Schlagflächen entwickeln. Sie verschwinden nach einigen Jahren wieder an diesen Stellen, verdrängt von den Gräsern, und treten an andern Stellen ebenso plötzlich und überraschend auf, wo vorher kaum eine Pflanze von ihnen zu finden war, aber ein neuer Kahlschlag die ihnen zusagenden Bedingungen bietet.

Das massenhafte und oft plötzliche Auftreten solcher Schlagpflanzen ist nur erklärlich durch die überaus leichte Übertragbarkeit des Samens durch den Wind; Kreuzkraut und Weidenröschen haben hierfür vortrefflich angepaßte Flugapparate. Den Samen des Fingerhutes fehlt allerdings ein solcher Flugapparat und deshalb vollzieht sich die Besiedelung einer Schlagfläche durch ihn langsamer, und

er tritt, namentlich anfangs, mehr in lockeren Gruppen auf (Fig. 115), aber seine Samen sind so klein und leicht, daß sie doch leicht vom Wind auf weite Strecken fortgeführt werden können.

Noch andere Pflanzen siedeln sich ihrer Lichtbedürftigkeit wegen gern auf solchen Schlagflächen an, z. B. die Tollkirsche, Himbeeren, Brombeeren, auch das Heidekraut. Bei ihnen sind aber die Samen nicht in demselben Maße zu einer raschen Verbreitung geeignet und die Besiedlung durch sie wird erheblich langsamer vonstatten gehen. Dafür holen sie aber im Lauf der Jahre nach, was sie am Anfang versäumt haben, wenigstens Himbeeren und Heidekraut, wo sie sonst zusagende Bedingungen finden, und bilden oft ein so zusammenhängendes Gestrüpp, daß der Forstmann oft nachhelfen muß, um den jungen Baumpflanzungen Luft zu schaffen.

In hohem Grade sind auch die Bewohner des Meeres von der Lichtintensität abhängig. Denn auch die Meerespflanzen haben einen Kampf ums Licht zu bestehen. Man darf nicht denken, daß der Meeresgrund überall von üppigen Pflanzenwiesen bedeckt ist, im Gegenteil, der besiedelte Grund ist sehr gering und zumeist auf schmale Striche an der Küste beschränkt. Denn das Licht, welches auch für die Wasserpflanzen die Lebensquelle ist, reicht nur eine kurze Strecke, etwa 400 m tief in das Wasser, wie sich durch Belichtung photographischer Platten hat nachweisen lassen. Unterhalb dieser Tiefe ist es völlig Nacht, aber schon lange vorher hört das Licht auf, für die Assimilation nutzbar zu sein.

Von den im Meer vorkommenden Pflanzen brauchen die Blütenpflanzen und grünen Algen das meiste Licht, deshalb sind sie auch stets nur in geringen Tiefen, bis etwa zu 20 m entwickelt. Wenn auch gelegentlich in viel größeren Tiefen grüne Pflanzen gefunden wurden, so sind das wohl ausschließlich von Strömungen fortgerissene und niedergesunkene oder eine Ruheperiode durchmachende Formen, eine aktive Entwicklung kann in großen Tiefen unmöglich stattfinden. Etwas tiefer gehen die Braunalgen herab, am tiefsten die Rotalgen, aber auch sie werden in größeren Tiefen als 40 m schon selten.

Man hat versucht, diese verschiedene Fähigkeit der Algen, in die Tiefe zu steigen, auf ihr ungleiches Verhalten, die Spektralfarben auszunützen, zurückzuführen. Rote und gelbe Strahlen werden schon in den oberen Schichten vom Wasser völlig absorbiert, etwas tiefer dringen die grünen, noch tiefer die blauen. Für die grünen Pflanzen sind aber die roten und gelben Strahlen in bezug auf die Assimilation am wirksamsten; für die Braunalgen sollen es die gelben bis grünen, für die Rotalgen die blauen Strahlen sein. Es würde also die tiefer eindringende Farbe auch von den tiefer dringenden Algenformen ausgenützt werden. Möglich ist es, aber bewiesen ist es nicht, und es sprechen manche recht schwerwiegende Bedenken dagegen.

Als Kuriosum muß noch angeführt werden, daß man am Grunde des Genfer Sees bei 60 m Tiefe die eigentümlich veränderte Wasserform eins sonst ausgesprochenen Landmooses gefunden hat, *Thamnium alopecurum* var. *Lemani*. Was dieses Moos veranlaßt hat, in die Tiefen der Alpenseen zu steigen und sich dort zu akklimatisieren, ist schwer verständlich; mir scheint es nicht unmöglich,

jährige Hochwald der Axt zum Opfer fällt, schwindet auch die Moosflora, die sich da seit Jahrzehnten entwickelt, und macht andern Formen Platz. Auch diese bleiben nicht lange; mit zunehmendem Alter der Kultur bleibt eine nach der andern von den lichtliebenden Arten zurück, und dafür treten wieder die alten Schattenformen auf. So wirkt die Änderung der Lichtverhältnisse selbst fortwährend verändernd auf die Zusammensetzung der Bodendecke.

Besonders auffällig tritt die durch Änderung der Lichtintensität hervorgerufene Umgestaltung der Bodenflora bei Kahlhieben hervor. Auf solchen Schlagflächen, die vorher unter dem Dunkel des geschlossenen Fichtenwaldes kaum eine kümmerliche Moosvegetation hervorbrachten, stellt sich auf einmal ein üppiges Pflanzenleben ein, und zwar sind es immer bestimmte Arten, die von der neuen Besiedlungsfläche zuerst Besitz ergreifen. Man hat sie deshalb auch mit Recht „Schlag-



Fig. 115. Neue Ansiedlung des Fingerhutes auf einer Schlagfläche

pflanzen“ genannt, weil sie schon im ersten Jahre von den Schlagflächen Besitz ergreifen und sich im zweiten oft in einer Masse entwickeln, daß sie wie angesät erscheinen. Neben einer Anzahl Gräser, die später oft zu den lästigsten Unkräutern in den jungen Kulturen werden, sind es besonders Kreuzkraut (*Senecio silvaticus*), Weidenröschen (*Epilobium angustifolium*) und Fingerhut (*Digitalis purpurea*), die sich in den ersten Jahren auf solchen Schlagflächen entwickeln. Sie verschwinden nach einigen Jahren wieder an diesen Stellen, verdrängt von den Gräsern, und treten an andern Stellen ebenso plötzlich und überraschend auf, wo vorher kaum eine Pflanze von ihnen zu finden war, aber ein neuer Kahlschlag die ihnen zusagenden Bedingungen bietet.

Das massenhafte und oft plötzliche Auftreten solcher Schlagpflanzen ist nur erklärlich durch die überaus leichte Übertragbarkeit des Samens durch den Wind; Kreuzkraut und Weidenröschen haben hierfür vortrefflich angepaßte Flugapparate. Den Samen des Fingerhutes fehlt allerdings ein solcher Flugapparat und deshalb vollzieht sich die Besiedlung einer Schlagfläche durch ihn langsamer, und

er tritt, namentlich anfangs, mehr in lockeren Gruppen auf (Fig. 115), aber seine Samen sind so klein und leicht, daß sie doch leicht vom Wind auf weite Strecken fortgeführt werden können.

Noch andere Pflanzen siedeln sich ihrer Lichtbedürftigkeit wegen gern auf solchen Schlagflächen an, z. B. die Tollkirsche, Himbeeren, Brombeeren, auch das Heidekraut. Bei ihnen sind aber die Samen nicht in demselben Maße zu einer raschen Verbreitung geeignet und die Besiedlung durch sie wird erheblich langsamer vonstatten gehen. Dafür holen sie aber im Lauf der Jahre nach, was sie am Anfang versäumt haben, wenigstens Himbeeren und Heidekraut, wo sie sonst zusagende Bedingungen finden, und bilden oft ein so zusammenhängendes Gestrüpp, daß der Forstmann oft nachhelfen muß, um den jungen Baumpflanzungen Luft zu schaffen.

In hohem Grade sind auch die Bewohner des Meeres von der Lichtintensität abhängig. Denn auch die Meerespflanzen haben einen Kampf ums Licht zu bestehen. Man darf nicht denken, daß der Meeresgrund überall von üppigen Pflanzenwiesen bedeckt ist, im Gegenteil, der besiedelte Grund ist sehr gering und zumeist auf schmale Striche an der Küste beschränkt. Denn das Licht, welches auch für die Wasserpflanzen die Lebensquelle ist, reicht nur eine kurze Strecke, etwa 400 m tief in das Wasser, wie sich durch Belichtung photographischer Platten hat nachweisen lassen. Unterhalb dieser Tiefe ist es völlig Nacht, aber schon lange vorher hört das Licht auf, für die Assimilation nutzbar zu sein.

Von den im Meer vorkommenden Pflanzen brauchen die Blütenpflanzen und grünen Algen das meiste Licht, deshalb sind sie auch stets nur in geringen Tiefen, bis etwa zu 20 m entwickelt. Wenn auch gelegentlich in viel größeren Tiefen grüne Pflanzen gefunden wurden, so sind das wohl ausschließlich von Strömungen fortgerissene und niedergesunkene oder eine Ruheperiode durchmachende Formen, eine aktive Entwicklung kann in großen Tiefen unmöglich stattfinden. Etwas tiefer gehen die Braunalgen herab, am tiefsten die Rotalgen, aber auch sie werden in größeren Tiefen als 40 m schon selten.

Man hat versucht, diese verschiedene Fähigkeit der Algen, in die Tiefe zu steigen, auf ihr ungleiches Verhalten, die Spektralfarben auszunützen, zurückzuführen. Rote und gelbe Strahlen werden schon in den oberen Schichten vom Wasser völlig absorbiert, etwas tiefer dringen die grünen, noch tiefer die blauen. Für die grünen Pflanzen sind aber die roten und gelben Strahlen in bezug auf die Assimilation am wirksamsten; für die Braunalgen sollen es die gelben bis grünen, für die Rotalgen die blauen Strahlen sein. Es würde also die tiefer eindringende Farbe auch von den tiefer dringenden Algenformen ausgenützt werden. Möglich ist es, aber bewiesen ist es nicht, und es sprechen manche recht schwerwiegende Bedenken dagegen.

Als Kuriosum muß noch angeführt werden, daß man am Grunde des Genfer Sees bei 60 m Tiefe die eigentümlich veränderte Wasserform eins sonst ausgesprochenen Landmooses gefunden hat, *Thamnum alopecurum* var. *Lemani*. Was dieses Moos veranlaßt hat, in die Tiefen der Alpenseen zu steigen und sich dort zu akklimatisieren, ist schwer verständlich; mir scheint es nicht unmöglich,

daß es doch nur von Bächen mitgerissene Polster oder Stämmchen des zierlichen Moores gewesen sind, die im See niedersanken und dort noch eine Zeitlang sich am Leben erhielten und sich sogar entwickelten, aber in bizarren Formen, als Ausdruck ihres Strebens nach dem schwindenden Licht. Allerdings wurden auch von diesem Moose in lichtarmen Höhlen kleine zwerghige Schattenformen gefunden.

VII. KAPITEL

Der Einfluß der Temperatur

Wie ein gewisses Maß von Licht und Feuchtigkeit brauchen die Pflanzen auch eine bestimmte Wassermenge zu ihrem Gedeihen, auch hier kann ein Zuviel oder Zuwenig schaden und selbst den Tod im Gefolge haben. Für die Entwicklung der Pflanze gibt es eine untere Temperaturgrenze, die man als *Temperaturminimum* bezeichnet; dieselbe liegt aber nicht nur für die verschiedenen Arten verschieden hoch, sondern sie ist auch für die verschiedenen Lebensfunktionen ein und derselben Art nicht gleich. Das Wachstum beginnt z. B. bei einer anderen Temperatur als die Assimilation oder das Blühen. Ganz allgemein kann man aber die untere Temperaturgrenze des Wachstums auch als die der Entwicklung einer Pflanze bezeichnen.

Ebenso wie ein Temperaturminimum gibt es auch ein Maximum, über welches hinaus die Entwicklung still steht, und ein Optimum, bei welchem die Entwicklung am besten vor sich geht. Auch diese sind für die einzelnen Pflanzen verschieden. Die untere Temperaturgrenze liegt für eine ganze Anzahl unserer Kulturpflanzen einige Grade über 0; legt man die Keimung der Samen, die ja auch ein Entwicklungsvorgang der Pflanze ist, einem Vergleich der Minima bei den verschiedensten Arten zugrunde, so erhält man für die Getreidearten, Klee, Raps, Erbsen u. a. etwa 4,5° C, für Mais 10,5° C, für Tabak 15,6° C und für Gurken 18,5° C.

Die obere Temperaturgrenze liegt für Getreide, Tabak und Erbsen zwischen 31 und 33° C, für Rotklee und Raps zwischen 37 und 44° C, für Mais und Hanf etwas über 44° C. Das Optimum liegt zwischen beiden Extremen, aber gewöhnlich dem Maximum wesentlich genähert. Unterhalb dieser Temperaturminima findet wenigstens eine merkliche Entwicklung nicht statt, ebenso wenig oberhalb der Maxima, indessen sind niedere oder höhere Temperaturen deshalb noch durchaus nicht immer tödlich. Die Pflanzen treten vielmehr zunächst nur in einen Starrezustand ein, aus dem sie wieder erwachsen, wenn die Temperaturen über das Minimum steigen oder unter das Maximum sinken. Doch werden Temperaturen über 50° C von den Pflanzen nicht lange vertragen; nähert sich die Temperatur 60° C, so gerinnt das Pflanzeneiweiß und es muß Tod eintreten.

An den oben angeführten Beispielen läßt sich schon erkennen, daß die Getreidearten an die Temperatur geringere Anforderungen stellen, als Mais, Tabak oder Gurken; sie vertragen auch nicht so hohe Temperaturen als die letzteren,

und die Wärmestarre tritt früher ein. Das deutet schon darauf hin, daß sie Bewohner gemäßigter Klimate sind, während die letzteren offenbar aus heißeren Gegenden stammen. Eine Anpassung an bestimmte Temperaturverhältnisse hat also bei den Pflanzen stattgefunden und sogar in verhältnismäßig hohem Grade, nur fällt diese Anpassung äußerlich nicht ohne weiteres auf, es läßt sich einer Pflanze nicht in demselben Maße ihre Anpassung an gemäßigte oder warme Klimate ansehen, wie den Wüstenpflanzen oder Xerophyten allgemein ihre Anpassung an trockene Klimate. Spricht man von tropischer Vegetation, so verbindet man allerdings unwillkürlich mit dem Bilde üppigen Pflanzenwuchses auch die Vorstellung von großer Hitze; aber nicht die Wärme, sondern die Feuchtigkeitsmenge ist hier der ausschlaggebende Faktor, denn gerade unter der heißen Tropensonne liegen auch die unwirtlichsten Wüsten, wenn das lebenspendende Wasser fehlt.

Bei den meisten aus heißen Ländern stammenden Pflanzen findet eine Entwicklung erst zwischen 10 und 20°C statt, ja es gibt Arten, denen Temperaturen von $+10^{\circ}\text{C}$ schon schädlich sind. Bei unsern heimischen Pflanzen dagegen findet durchschnittlich schon eine Entwicklung zwischen 3 und 6°C statt, aber eine Entfaltung der Blätter unserer Bäume ist nicht nur von der Lufttemperatur, sondern ganz besonders auch von der Bodentemperatur abhängig, die im Frühjahr verhältnismäßig lange hinter der Lufttemperatur zurückbleibt. Die Wurzeln vermögen ja auch erst bei bestimmten Temperaturen ihre Funktionen zu erfüllen und Wasser aufzunehmen, so daß das „Saftsteigen“ erst bei genügender Erwärmung des Bodens beginnt.

Aber auch innerhalb engbegrenzter Gebiete zeigen sich noch große Unterschiede im Wärmebedürfnis der Pflanzen. Die Haselnuß öffnet ihre Blütenkätzchen oft schon an schönen Februartagen, lange bevor ihre Blätter an Entfaltung denken. Auch manche unserer lieblichen Waldblumen können die Zeit kaum erwarten; das Schneeglöckchen hebt die zarten Blütenköpfchen schon der Sonne entgegen, wenn alle anderen Pflanzen noch in tiefem Winterschlaf ruhen; auch die Christrose (*Helleborus*) blüht oft unter Eis und Schnee, mitunter im tiefsten Winter, wenn nur das Wetter eine Zeitlang ein freundliches Gesicht macht. Bald schließen sich dann andere an; Seidelbast mit seinen duftigen Blüten, Gänseblümchen und auf Äckern die stengelumfassende Taubnessel, die Sternmiere und andere. Sie alle brauchen nur wenig Wärme zu ihrer Entwicklung und Bruchteile eines Grades über 0° mögen genügen, ihre Entwicklung anzuregen.

Mehr noch als bei uns, im Tieflande oder in den Mittelgebirgen, zeigt sich bei den Pflanzen der Hochgebirge und Polarländer bescheidener Anspruch an die Wärmemengen. Allerdings, der Sommer ist hier kurz und die Wärme, die er bietet, muß ausgenutzt werden, will die Pflanze Samen bringen und für ihre Fortpflanzung sorgen. Und wenn sich auch in den Hochgebirgen am Tage die Sonnenglut des Sommers bemerkbar macht, die Nächte sind kalt und bringen oft mitten im Sommer Frost. Pflanzen des Hochgebirges sind deshalb wenig empfindlich gegen Kälte; oft treiben sie ihre Blütenstiele durch den Schnee

hindurch, und es macht einen merkwürdigen Eindruck, wenn man hoch oben im Gebirge an der Grenze des wegtauenden Schnees vereinzelt die Blütenköpfchen von Primelarten durch den Schnee auftauchen sieht, während dicht daneben, wo vielleicht vor wenig Tagen noch Schnee lag, schon alles in buntem Flor steht.

Kürzer noch, als in den Hochalpen, ist der Sommer in den Polarländern, und doch vermag die kurze Spanne von wenigen Wochen, in denen die Temperatur sich über den Nullpunkt hält, eine freilich kärgliche Flora von Blütenpflanzen zu entfalten. Hier spielt sich das ganze Leben der Pflanze innerhalb einer Temperatur ab, die nur wenige Grade über 0 steigt.

Die größten Extreme in bezug auf Anpassung an Temperaturen finden wir bei den niedersten Pflanzen, bei Bakterien und Algen. Es gibt Arten, deren Entwicklung schon bei wenigen Bruchteilen eines Grades über 0 beginnt, und deren Temperaturoptimum ebenfalls sehr niedrig liegt. So sind eine Anzahl Meeresbakterien, besonders einige phosphoreszierende Arten bekannt, deren Entwicklung bei 0° beginnt. Im ewigen Schnee der Alpen und Polarländer lebt eine Alge, *Chlamydomonas nivalis* (*Haematococcus* oder *Sphaerella nivalis*), die in weiten Flächen den Schnee blutrot färbt (Blutschnee, roter Schnee), so massenhaft entwickeln sich die mikroskopisch kleinen roten Zellen. Selbst wenn die Sommersonne auf dem Schnee ruht, kann die Temperatur in dem schmelzenden Schnee kaum über 0° steigen. Freilich muß man eine geringe Temperaturerhöhung im Innern der lebenden Zellen durch die Atmung erwarten, denn jede lebende Zelle atmet, und bei jeder Atmung wird Wärme entbunden. Sehr groß kann aber die Temperaturerhöhung in dem schmelzenden Schnee unmöglich sein.

Umgekehrt finden wir auch wieder bei den Algen und Bakterien Formen, die die höchsten Temperaturen ertragen können, und zwar nicht bloß im Ruhezustande, sondern während der Entwicklung, ja, die hierzu so hohe Temperaturgrade brauchen, wie sie für alle andern lebenden Wesen sofort tödlich sein würden. Im Lauf der letzten Jahrzehnte sind eine Anzahl Bakterien, die man als thermophile bezeichnet, bekannt geworden, deren Entwicklung erst bei Temperaturen oberhalb 50° C beginnt und oft bei 70° noch nicht erlischt, also bei Temperaturen, bei denen die uns bekannten das Plasma zusammensetzenden Eiweißstoffe gerinnen. Es ist anzunehmen, daß entweder ihr Plasma aus anderen Eiweißkörpern, die höhere Temperaturen vertragen, besteht, oder daß bei ihren chemischen Leistungen durch die Bildung bestimmter Stoffwechselprodukte der Zelle so viel Wärme fortwährend entzogen wird, daß die Zelle in ihrem Innern eine wesentlich niedrigere Temperatur besitzt.

Nicht minder eigentümlich ist das Vorkommen von blaugrünen Algen (Cyanophyceen) in heißen Thermen, deren Temperaturen gegen 70°, ja selbst 80° C betragen. Unter ihnen ist besonders *Lyngbya thermalis* bekannt; sie kommt sowohl in den heißen Geysir Islands als in den Thermen Mitteleuropas vor, aber nicht in Wässern die Temperaturen unter 50° C haben. Solche Anpassungen an extreme Temperaturverhältnisse, die vorläufig unserer Erklärungsversuche spotten, kommen freilich bei höheren Pflanzen nicht vor.

Im allgemeinen werden allerdings auch höhere Pflanzen kaum in die Lage

kommen, so hohe Temperaturen vertragen zu müssen, da ja die Lufttemperatur, selbst in den heißesten Gebieten, diese Höhe nicht erreicht und deshalb stets eine Wärmeausstrahlung stattfinden kann, auch wenn die von der Sonne getroffenen Teile zu stark erwärmt wurden. Indessen gibt es Fälle, in denen doch eine solche Überhitzung einzelner Teile des lebenden Pflanzenkörpers eintreten kann, und dann erleiden diese einen mehr oder weniger tiefgehenden Schaden. Das ist beispielsweise beim Rindenbrand der Fall, einer Krankheit, der in erster Linie glatt- und dünnrindige Bäume ohne ergiebige Borkenbildung wie Weißtanne, Rotbuche, Ahorn zum Opfer fallen. Wenn die Sonne ungehindert durch Zweige und Belaubung den Stamm trifft und dieser nicht durch anatomische Einrichtungen geschützt ist, so kommt es durch die intensive Bestrahlung, wie im vorigen Kapitel erörtert, zu einer Überhitzung der Kambialschichten, deren Absterben vorwiegend auf der Südwestseite erfolgt. Daß die Pflanzen aber ein natürliches hohes Anpassungsvermögen auch gegen die durch zu intensive Insolation herbeigerufenen Schädigungen besitzen und damit auch gegen zu starke Wärmeaufnahme, wurde ebenfalls bereits erörtert. Hinzuweisen wäre noch darauf, daß bei starker Erwärmung auch die Transpiration erheblich gesteigert wird, durch die Verdunstung größerer Mengen Wasser aber auch sehr beträchtliche Wärmemengen den verdunstenden Organen entzogen werden. Da nun hauptsächlich die Blätter verdunsten, so sind diese vor zu starker Erwärmung besonders gut geschützt, die Stämme aber, die viel weniger verdunsten, und um so weniger relativ, je dicker sie sind, da dann die Oberfläche im Verhältnis zum Volumen zu wenig wächst, haben dieses Hilfsmittel zur Herabsetzung der Temperatur in sehr viel geringerem Grade und müssen sich anders schützen.

Wie gegen zu starke Erwärmung gibt es auch besondere Einrichtungen gegen zu starke Wärmeabgabe, und dies in um so höherem Maße, als letztere in viel öfteren Fällen den Pflanzen gefährlich wird, als zu starke Erwärmung. Ein Erfrieren der Pflanzen ist namentlich in unserem Klima durchaus keine seltene Erscheinung und ist besonders im Frühjahr bei Nachtfrösten fast alljährlich irgendwo zu beobachten, wenn auch oft kein besonderer Schaden dadurch entsteht. Vielfach werden aber die Pflanzen so schwer dadurch beschädigt, daß sie eingehen oder sich doch schwer von dem Schaden erholen können.

Das Erfrieren der Pflanzen kommt im allgemeinen dadurch zustande, daß durch Eisbildung dem Protoplasma Wasser entzogen wird, welches beim Auftauen, wenn das Plasma zur Ausübung seiner normalen Funktionen einen entsprechenden Wassergehalt braucht, nicht vollständig oder nicht rasch genug in das Plasma wieder eintreten kann. Das Absterben erfolgt also der Hauptsache nach erst beim zu raschen Wiederauftauen, besonders wenn der Zelle gleichzeitig, etwa bei Sonnenstrahlung, viel Wasser durch Verdunstung entzogen wird. Im einzelnen sind die Prozesse, die sich dabei abspielen, sehr verschieden, und es gibt Pflanzen, die schon bei einer Temperatur über 0° , wo an Eisbildung also noch nicht zu denken ist, an den Folgen zu großer Wärmeabgabe eingehen, „erfrieren“. Bei unsern heimischen Pflanzen ist die Gefahr des Erfrierens hauptsächlich nur im Frühjahr, während des Laubausbruches und kurz

nachher vorhanden, im Winter, wo ja weit stärkere Kältegrade herrschen, sind sie ziemlich unempfindlich.

Das hängt wieder damit zusammen, daß das Erfrieren der Pflanzen vielfach nur eine Folge zu großer Verdunstung und der Unmöglichkeit genügenden Ersatzes des verdunsteten Wassers ist, daß also ein Vertrocknen stattfindet. Wenn aber die hauptsächlich verdunstenden Organe, die Blätter, fehlen, kann die Verdunstung nur eine geringe sein und deshalb im Winter nicht entfernt dieselbe Rolle spielen als im Frühjahr. Am empfindlichsten sind gerade die jungen Blätter, die sehr viel Wasser verdunsten müssen, weil das Wasser als Träger der in ihm gelösten Baustoffe fortgeschafft werden muß, sobald es seine Aufgabe, den Transport, erfüllt hat. Später, wenn die Blätter völlig ausgebildet sind, sind sie nicht nur viel derber, sondern auch besser gegen zu starke Verdunstung geschützt, sie decken sich auch gegenseitig besser und es bildet sich zwischen und um sie herum eine feuchtigkeitsgesättigte und wärmere Luftschicht, die das Erfrieren viel besser verhindert, als dies bei unentwickelten, kleinen Blättern der Fall ist.

Im Winter fällt diese Gefahr für unsere weitaus meisten Pflanzen fort, nur wenige Arten, wie Nadelbäume, Efeu, Stechpalme bleiben beblättert. Bei den Pflanzen, welche zwar mehrjährig sind, im Winter aber die Blätter abgeworfen haben, ist die verdunstende Fläche auf ein Minimum reduziert und auf Stamm, Zweige und Knospen beschränkt. Und an diesen Organen ist die Verdunstung überhaupt nur gering, denn sie sind durch die mehr oder weniger stark entwickelte Rinde oder Borke oder durch die Knospenschuppen besonders gut geschützt. Außerdem kommt noch hinzu, daß der Zellinhalt gewöhnlich ziemlich reich an Salzen ist und hierdurch der Verdunstung noch größeren Widerstand entgegensetzt.

Der Salzgehalt des Zellsaftes wirkt aber noch in anderer Weise günstig. Es ist bekannt, daß Salzlösungen viel schwerer zu Eis erstarren, als reines Wasser. konzentrierte Chlorkaliumlösung beispielsweise erst bei etwa -28°C . Eine eigentliche Eisbildung wird dadurch in den Zellen sehr erschwert, es tritt zwar etwas Wasser in die Interzellularräume aus und bildet hier Eiskristalle, nicht aber in den Zellen selbst, zumal sich deren Salzgehalt eben durch den Wasseraustritt immer mehr konzentriert und dadurch immer schwerer zur Eisbildung neigt. Die Zellen der Pflanzen im Winterzustande sind aber überhaupt viel reicher an gelösten Stoffen in ihrem Inhalt, als die Blattzellen im Sommer oder gar bei Laubausbruch, denn sie enthalten ja die Reservestoffe, wenn auch allerdings zum Teil in fester Form, die für den Laubausbruch im nächsten Frühjahr aufgespeichert werden.

Nichtsdestoweniger kommt es doch hin und wieder zu einem Erfrieren mancher Pflanzen in strengen Wintern; besonders sind Obstbäume, Pfirsich-, Pflaumen-, dann auch Wallnußbäume, die ja eigentlich auch nicht bei uns heimisch sind, dieser Gefahr ausgesetzt. Aber auch an unsern Apfel- und Birnbäumen, an Kirschbäumen kommen im Winter Frostschäden vor, wenn dieselben auch meist lokal bleiben und sich auf mehr oder weniger große Flecke am Stamm beschränken. Hier wird das Cambium durch die Frostwirkung geschädigt und zum Absterben

gebracht, oft auch die etwas weniger empfindlichen darüber liegenden Partien der Rinde, und es tritt dann ein Zerfall dieser abgestorbenen Teile ein, der oft zu eigentümlichen, vom gesund gebliebenen Teil aus unregelmäßig überwallenden Wunden führt. Ein Teil der als „Krebs“ bezeichneten Erkrankungen ist auf solche Frostwirkungen zurückzuführen.

Auch die Pflanzen, welche ihre Blätter im Winter behalten, haben bei strenger Kälte, besonders wenn eine Schneedecke fehlt, sehr oft unter Frostwirkung zu leiden. Der Efeu zeigt z. B. nach solchen Wintern vielfach starken Frostschaden, die Blätter sind vom Rande aus mehr oder weniger weit nach der Mitte zu abgestorben und sehen wie vertrocknet aus. Sie sind auch vertrocknet, denn auch hier ist der Mangel an rechtzeitigem Ersatz des verdunsteten Wassers in Verbindung mit der Frostwirkung die Ursache des Todes gewesen. Betrachtet man nach einem solchen Winter den Efeu an verschiedenen Stellen genauer, so zeigt sich die auffallende Tatsache, daß die um Baumstämme entwickelten Efeuvegetationen viel weniger gelitten haben, als die an Mauern gewachsenen. Ferner sind die nach Süden gelegenen Efeublätter gewöhnlich am meisten erfroren, während man doch annehmen sollte, daß sie hier die meiste Wärme erhalten haben.

Die Erklärung ist wieder darin zu suchen, daß die Blätter auf der Südseite die stärkste Verdunstung eben infolge der Sonnenstrahlung erlitten haben, da aber ein Ersatz des Wassers auch hier nicht in ausreichender Weise erfolgen konnte, so mußten sie entsprechend mehr leiden, als die Blätter auf der Nordseite. Ähnlich schädlich wirken auch die austrocknenden kalten Ostwinde an exponierten Stellen, so daß auch hier gewöhnlich ein stärkeres Absterben erfolgt. Daß sich aber der Efeu an Mauern schlechter hält als an Bäumen, liegt daran, daß er unter letzteren stets einen größeren Schutz vor zu starker Besonnung hat und unter Bäumen auch die Atmosphäre stets feuchter ist als an kahlen Mauern. Diese sind auch an den nicht von Efeu beschatteten Teilen von der Sonnenstrahlung viel stärker erwärmt und wirken ihrerseits auch noch austrocknend.

Noch empfindlicher als der Efeu ist in mancher Hinsicht die *Steckpalme*, *Ilex aquifolium*, gegen kalte und besonders trockene Winter. Ihr natürliches Vorkommen ist deshalb in hohem Grade an einen bestimmten Feuchtigkeitsgehalt der Luft gebunden. Nur so weit die feuchte Luft des Meeres ihren Einfluß noch in erheblichem Grade, auch im Winter, geltend machen kann, findet sie ihre Lebensbedingungen. Die Grenze ihres Vorkommens gegen Osten ist in Süddeutschland etwa der Schwarzwald, dann biegt sie über Hannover nach Osten aus und geht ungefähr über Mecklenburg und Pommern an die Ostsee. Einzelne vorgeschobene Posten kommen auch noch weiter östlich vor. Auch sie leidet, ebenso wie die verwandte, viel in Anlagen gezogene *Mahonia aquifolium* trotz ihrer lederartig derben Blätter im Winter durch die trockene Luft weit mehr als durch hohe Kältegrade. Die in unseren Wäldern heimischen Wintergrünarten (*Pirola*) mit immergrünen Blättern überstehen auch große Kälte bei gleichzeitiger Schneebedeckung sehr gut, kommen aber kalte schneelose Winter, so zeigt sich, namentlich in sonnigen Lagen, eine ganz ähnliche Erscheinung wie beim Efeu, die Blätter sind am Rande, oft bis weit nach der Mitte zu, vertrocknet und abgestorben.

Ebenso hat in schneelosen Wintern unter der Wirkung der sogenannten Blankfröste unser Getreide oft schwer zu leiden; schon wenige Grade unter Null können, wenn die Temperatur nur längere Zeit anhält, zu einem Erfrieren der Pflänzchen führen, während unter einer Schneedecke auch die stärksten Fröste keinen Schaden tun. Hier kommen allerdings auch noch andere Faktoren in Rechnung; besonders wenn wiederholt abwechselndes Auftauen und Gefrieren des Bodens erfolgt, wird durch die wechselnde Volumenänderung des letzteren ein Emporheben der Getreidepflanzen, oft unter Zerreißen des Wurzelsystems bewirkt und dadurch auch Teile der Pflanze, die sonst vor Verdunstung geschützt sind, der Luft ausgesetzt. Das sogenannte Auswintern des Getreides ist in den meisten Fällen hierauf zurückzuführen.

Ein Frostschaden findet auch bei vielen Nadelhölzern, von unseren einheimischen z. B. bei der Fichte, in manchen Wintern statt. Hier leiden auch die der Sonne ausgesetzten Zweige am meisten, es kommt auf der Sonnenseite zu einer Bräunung und später zu einem Abfall der Nadeln. Junge Kiefernisaaten gehen in schneefreien, kalten Wintern oft ganz ein, sie zeigen im Frühjahr rotbraune Nadeln. Auch manche ausländische Nadelhölzer haben bei uns weniger durch den Frost selbst, als die trockene Luft im Winter zu leiden, und die viel in Anlagen gebaute *Tsuga*, sowie die *Douglastanne* sind besonders gegen die kalten und trockenen Ostwinde empfindlich.

Merkwürdig ist es, wie wenig empfindlich manche niedere Pflanzen gegenüber niedrigen Temperaturen sind, selbst gegenüber Temperaturen, wie sie nirgends auf der Erde vorkommen und nur durch Verdunstung flüssiger Luft oder flüssigen Wasserstoffes erhalten werden können. Bei Bakterien tritt zwar unter -100°C eine Schädigung ein, wenigstens beim Typhusbazillus, aber es bleiben doch viele Zellen auch noch bei längerer Einwirkung solcher Kälte am Leben; Bakteriensporen werden auch durch die größte bisher erreichte und zu Versuchen benutzte Kälte nicht merklich geschädigt. Andere Bakterienarten vertragen sogar eine sechs Monate lang einwirkende Temperatur von -200°C und sogar bis -250°C . Ebenso werden Diatomeen durch Einwirkung von -200°C nicht zum Absterben gebracht.

Im Meer wirkt die Temperatur ebenfalls sehr bedeutend auf die Pflanzenwelt, die ja hier hauptsächlich aus Algen besteht, ein; in den nördlicheren Meeren überwiegen die Braunalgen, in den wärmeren die Rotalgen. Auch die kalten Polar-meere, deren Wassertemperatur oft noch einige Bruchteile eines Grades unter dem Nullpunkt liegt, beherbergen noch Diatomeen und Braunalgen in reichem Maße. Aber diese Pflanzen sind an verhältnismäßig sehr gleichförmige Temperaturen angepaßt; Tag- und Nachttemperaturen differieren nur unbedeutend, und auch der Unterschied zwischen der höchsten Sommertemperatur und der tiefsten Wintertemperatur beträgt nur wenige Grade. Desto empfindlicher sind sie aber dann gegen größere Temperaturunterschiede. Daß einzelne Arten nur in bestimmter Tiefen vorkommen, ist mindestens ebenso durch die Temperaturverhältnisse, als durch das Licht bestimmt, und es würde sich bei genauer Berücksichtigung dieser Verhältnisse wohl für alle solche Arten herausstellen, daß sie an ihren ver-

schiedenen Standorten in ungleicher, einer bestimmten mittleren Temperatur des Meerwassers entsprechenden Tiefe wachsen. Denn im allgemeinen nimmt die Temperatur des Meerwassers mit der Tiefe rasch ab.

Zu große Wärmeabgabe wird bei vielen Pflanzen, besonders in Gegenden mit hoher Tages- und niedriger Nachttemperatur durch eine eigentümliche Stellung der Blätter verhindert. Diese letzteren führen nämlich bei Eintritt der Dunkelheit



Fig. 116. Mimose, Tagstellung

Bewegungen (Schlafbewegungen, nyktitropische Bewegungen) aus, wodurch sie enger aneinandergebracht werden und sich gewissermaßen gegenseitig schützen. Besonders auffallend ist dies oft bei Pflanzen mit gefiederten Blättern, z. B. bei der Robinie, bei der sich die Blättter senken, so daß sie sich schließlich mit der Rückseite berühren. Wenn man an einem hellen Sommerabend, längere Zeit nach Sonnenuntergang, eine Robinie betrachtet, so zeigen die Blätter ein ganz anderes Aussehen, es scheint, als ob sie etwas welk und schlaff geworden seien, aber es ist nichts anderes als die eigentümliche Schlafstellung, die sie eingenommen

Ebenso hat in schneelosen Wintern unter der Wirkung der sogenannten Blankfröste unser Getreide oft schwer zu leiden; schon wenige Grade unter Null können, wenn die Temperatur nur längere Zeit anhält, zu einem Erfrieren der Pflänzchen führen, während unter einer Schneedecke auch die stärksten Fröste keinen Schaden tun. Hier kommen allerdings auch noch andere Faktoren in Rechnung; besonders wenn wiederholt abwechselndes Auftauen und Gefrieren des Bodens erfolgt, wird durch die wechselnde Volumenänderung des letzteren ein Emporheben der Getreidepflanzen, oft unter Zerreißen des Wurzelsystems bewirkt und dadurch auch Teile der Pflanze, die sonst vor Verdunstung geschützt sind, der Luft ausgesetzt. Das sogenannte Auswintern des Getreides ist in den meisten Fällen hierauf zurückzuführen.

Ein Frostschaden findet auch bei vielen Nadelhölzern, von unseren einheimischen z. B. bei der Fichte, in manchen Wintern statt. Hier leiden auch die der Sonne ausgesetzten Zweige am meisten, es kommt auf der Sonnenseite zu einer Bräunung und später zu einem Abfall der Nadeln. Junge Kiefernсааten gehen in schneefreien, kalten Wintern oft ganz ein, sie zeigen im Frühjahr rotbraune Nadeln. Auch manche ausländische Nadelhölzer haben bei uns weniger durch den Frost selbst, als die trockene Luft im Winter zu leiden, und die viel in Anlagen gebaute *Tsuga*, sowie die Douglasanne sind besonders gegen die kalten und trockenen Ostwinde empfindlich.

Merkwürdig ist es, wie wenig empfindlich manche niedere Pflanzen gegenüber niedrigen Temperaturen sind, selbst gegenüber Temperaturen, wie sie nirgends auf der Erde vorkommen und nur durch Verdunstung flüssiger Luft oder flüssigen Wasserstoffes erhalten werden können. Bei Bakterien tritt zwar unter -100°C eine Schädigung ein, wenigstens beim Typhusbazillus, aber es bleiben doch viele Zellen auch noch bei längerer Einwirkung solcher Kälte am Leben; Bakterien-sporen werden auch durch die größte bisher erreichte und zu Versuchen benutzte Kälte nicht merklich geschädigt. Andere Bakterienarten vertragen sogar eine sechs Monate lang einwirkende Temperatur von -200°C und sogar bis -250°C . Ebenso werden Diatomeen durch Einwirkung von -200°C nicht zum Absterben gebracht.

Im Meer wirkt die Temperatur ebenfalls sehr bedeutend auf die Pflanzenwelt, die ja hier hauptsächlich aus Algen besteht, ein; in den nördlicheren Meeren überwiegen die Braunalgen, in den wärmeren die Rotalgen. Auch die kalten Polar-meere, deren Wassertemperatur oft noch einige Bruchteile eines Grades unter dem Nullpunkt liegt, beherbergen noch Diatomeen und Braunalgen in reichem Maße. Aber diese Pflanzen sind an verhältnismäßig sehr gleichförmige Temperaturen angepaßt; Tag- und Nachttemperaturen differieren nur unbedeutend, und auch der Unterschied zwischen der höchsten Sommertemperatur und der tiefsten Wintertemperatur beträgt nur wenige Grade. Desto empfindlicher sind sie aber dann gegen größere Temperaturunterschiede. Daß einzelne Arten nur in bestimmter Tiefen vorkommen, ist mindestens ebenso durch die Temperaturverhältnisse, als durch das Licht bestimmt, und es würde sich bei genauer Berücksichtigung dieser Verhältnisse wohl für alle solche Arten herausstellen, daß sie an ihren ver-

schiedenen Standorten in ungleicher, einer bestimmten mittleren Temperatur des Meerwassers entsprechenden Tiefe wachsen. Denn im allgemeinen nimmt die Temperatur des Meerwassers mit der Tiefe rasch ab.

Zu große Wärmeabgabe wird bei vielen Pflanzen, besonders in Gegenden mit hoher Tages- und niedriger Nachttemperatur durch eine eigentümliche Stellung der Blätter verhindert. Diese letzteren führen nämlich bei Eintritt der Dunkelheit



Fig. 116. Mimose, Tagstellung

Bewegungen (Schlafbewegungen, nyktitropische Bewegungen) aus, wodurch sie enger aneinandergebracht werden und sich gewissermaßen gegenseitig schützen. Besonders auffallend ist dies oft bei Pflanzen mit gefiederten Blättern, z. B. bei der Robinie, bei der sich die Blätter senken, so daß sie sich schließlich mit der Rückseite berühren. Wenn man an einem hellen Sommerabend, längere Zeit nach Sonnenuntergang, eine Robinie betrachtet, so zeigen die Blätter ein ganz anderes Aussehen, es scheint, als ob sie etwas welk und schlaff geworden seien, aber es ist nichts anderes als die eigentümliche Schlafstellung, die sie eingenommen

haben. Noch auffallender ist der Unterschied zwischen Tag- und Nachtstellung bei der Sinnpflanze (*Mimosa*), die leider nur in Warmhäusern bei uns gut gedeiht und genügend empfindlich ist; sie läßt sich zwar im Sommer auch leicht in Töpfen ziehen, zeigt aber lange nicht die gleiche Reizempfindlichkeit.

Die Nachtstellung der Sinnpflanze ist der durch Erschütterung herbeigeführten Reizstellung sehr ähnlich. Die Blätter sind zusammengesetzt gefiedert,



Fig. 117. Mimose, Schlafstellung

von dem primären Blattstiel gehen zwei (bei einigen Arten mehr als zwei) sekundäre Blattstiele aus, und erst an diesen sitzen die kleinen zarten Fiederblättchen. Sowohl diese als auch die Blattstiele haben bewegliche Gelenkpolster und ermöglichen sowohl bei Berührung als auch bei zu intensiver Erwärmung rasche Bewegungen. Bei dem Übergang aus der Tag- in die Nachtstellung vollziehen sich die Bewegungen allerdings wesentlich langsamer, und man muß lange warten, ehe die Pflanze eingeschlafen ist, auch wird der Vorgang durch die Langsamkeit der Bewegungen weniger auffallend. Will man daher ein Bild

von dem ganzen Prozeß rasch gewinnen, so berührt man am besten das Endpaar der Fiedern eines Blattes ziemlich energisch. Sofort faltet sich das Blattpaar zusammen, darauf das folgende usw., bis alle Fiederblättchen an dem einen sekundären Blattstiel schräg aufwärts zusammengeklappt sind und sich gegenseitig decken. Ist die Berührung kräftig genug gewesen und die Pflanze hinreichend reizempfindlich, so pflanzt sich die Reizbewegung noch weiter fort; die beiden sekundären Blattstiele, die vorher eine gespreizte Stellung einnahmen, schmiegen sich eng aneinander, und an dem zweiten Blattstiel beginnen die Fliederblättchen, sich in umgekehrter Reihenfolge, vom Grunde nach der Spitze zusammenzulegen. Schließlich senkt sich der primäre Blattstiel abwärts, und bei starker Reizung ergreift die Bewegung auch noch die benachbarten Blätter, hier geht aber der Prozeß umgekehrt vor sich. Zuerst senkt sich der primäre Blattstiel

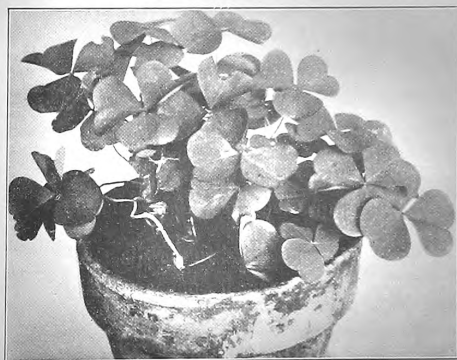


Fig. 118. Sauerklée in Tagstellung

abwärts, dann folgt die Bewegung der sekundären und zuletzt legen sich die Fiederblättchen paarweise, vom Grunde der sekundären Blattstiele beginnend, nach der Spitze zu zusammen. Erschüttert man die ganze Pflanze kräftig, so vollziehen sich diese Bewegungen gleichzeitig innerhalb einer Sekunde, und ähnlich, nur sehr viel langsamer und für den Beobachter fast unmerklich vollziehen sich die Bewegungen beim natürlichen Einschlafen der Pflanze.

Wie verschieden das Bild einer Mimose am Tage und in der Nacht ist, zeigen die beiden Photographien derselben beiden Pflänzchen, die nur in etwas verschiedener Stellung am gleichen Tage aufgenommen sind. Daß die ausgebreiteten Blättchen für die Wärmeausstrahlung eine sehr viel größere Fläche bieten als die eng aneinandergedrängten und fast schuppig übereinandergelagerten während der Nachtstellung, braucht nicht besonders hervorgehoben zu werden. Ähnlich verhalten sich nun noch zahlreiche Pflanzen mit gefiederten Blättern, wenn auch die dabei ausgeführten Bewegungen meist nicht so lebhaft und umfangreich sind und im einzelnen verschiedene Abweichungen zeigen; Akazien, Gleditschien, Oxalisarten, besonders die in botanischen Gärten häufig kultivierte *Oxalis prolifer*a zeigen ganz ähnliche Erscheinungen. Auch Pflanzen mit handförmigen drei- oder

mehrzähligen Blättern, wie unsere Kleearten und der Sauerklee (*Oxalis Acetosella*) führen nyktitropische Bewegungen aus, die eine Wärmeabgabe stark herabsetzen. Die Blättchen des Klees sind während der Nachtzeit einander stark genähert, am Tage flach ausgebreitet.

Temperatur- und Lichtveränderungen sind die Reizursachen dieser nyktitropischen Bewegungen. Wichtig für die Pflanzen ist es aber, daß der Reiz noch

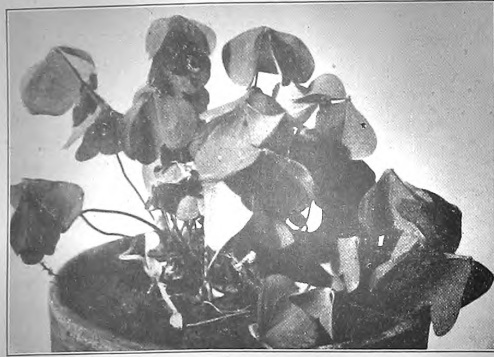


Fig. 119. Sauerklee in Nachtstellung

eine Zeitlang nachwirkt, wenn er selbst bereits aufgehört hat. Sehr oft ist die Temperatur beispielsweise gleich nach Sonnenaufgang am niedrigsten; würde bei Pflanzen, deren Schlafstellung durch Lichtmangel eintritt, keine Nachwirkung des Reizes stattfinden, so würden sie gerade zu einer Zeit, in der die stärkste Wärmeabgabe stattfindet, ihre Schutzstellung verlassen. Das wird durch die oft eine halbe Stunde und selbst länger dauernde Nachwirkung des Reizes vermieden.

VIII. KAPITEL

Der Einfluß der Höhenlage

Reisen in die Alpen sind gegenwärtig etwas so alltägliches, daß sich viele aus eigener Anschauung von der Veränderung der Flora mit zunehmender Höhenlage überzeugen können. Das war aber nicht immer so. Noch vor wenig mehr als einem Jahrhundert galt das Gebirge als das Urbild der Unwirtlichkeit, welches nur unter dringendem Zwange, aber niemals des Vergnügens oder der Erholung wegen aufgesucht wurde. So wurde denn auch die Tatsache, daß sich mit zunehmender Höhenlage ähnliche Veränderungen in der Zusammensetzung der Flora einstellen, wie mit zunehmender nördlicher Breite, erst verhältnismäßig spät, eigentlich genauer erst durch Alexander von Humboldt bekannt. Seine Reisen im äquatorialen Amerika und besonders seine Besteigung des Chimborazo führten ihn in Gebiete, die selbst fast unter dem Äquator eine beinahe arktische Flora besaßen.

Es unterliegt auch keinem Zweifel, daß die Abnahme der Temperatur mit zunehmender Erhebung über dem Meere ebenso die Hauptursache in der Veränderung der Pflanzendecke ist, wie bei der Entfernung vom Äquator nach den Polen. Aber die Wirkung tritt doch in einer anderen Weise hervor, und es sind auch noch andere Faktoren beteiligt, die sogar ziemlich bedeutenden Einfluß ausüben, während andere, die bei der Veränderung der Flora vom Äquator nach dem Pol zu oft sehr erheblich mitsprechen, fehlen.

Die Veränderungen, die sich mit zunehmender nördlicher Breite einstellen, erfolgen durchaus nicht überall gleichartig, das Klima ist unter gleicher nördlicher oder südlicher Breite in den verschiedenen Gegenden der Erde durchaus verschieden und damit auch die Flora. Wir treffen unter demselben Breitengrade in Afrika Steppe oder Wüste, in Amerika tropischen Urwald; in Norwegen zieht sich der Getreidebau infolge der Einwirkung des Golfstromes fast bis zum 70. Grad herauf, während er in Amerika schon bei ungefähr 60° nördlicher Breite aufhört. Kontinentale Lagen im Innern mächtiger Landmassen, wie Asien, bringen ein ganz anderes Klima hervor und damit eine ganz andere Flora, als die Küstengebiete Europas unter gleicher geographischer Breite. Die Richtung der Meeres- und Luftströmungen spielen eine entscheidende Rolle. Der Wechsel der Jahreszeiten macht sich mit zunehmender Entfernung vom Äquator immer auffallender bemerklich und bringt in manchen Gegenden im Sommer eine fast tropische Fülle der Vegetation hervor, während in der andern Jahreshälfte alles leblos unter Eis und Schnee begraben liegt.

Alle diese Einflüsse fallen fort, wenn wir die Veränderungen der Vegetation vom Grunde bis zum Gipfel eines Berges verfolgen. Zwar findet auch hier ein Wechsel der Jahreszeiten statt, wenn die geographische Lage des Berges überhaupt einen solchen bedingt, aber dann ist die am Fuße des Berges lebende Flora ebenso wie die am Gipfel dem gleichen Wechsel unterworfen. Dafür treten aber andere Faktoren auf, die nicht durch die geographische Lage, sondern durch die Erhebung über dem Meeresspiegel bedingt sind, die größere Intensität der Sonnenstrahlen in der dünneren Luft, der größere Unterschied zwischen Tag- und Nachttemperaturen, stärkere Wirkung des Windes, größere Niederschlagsmengen, häufigere Nebel, zeitweise viel trockenere Luft.

Die stärkere Sonnenstrahlung im Hochgebirge ruft nicht nur eine verhältnismäßige starke Erwärmung des Bodens und der Pflanzen selbst hervor, sondern die Lichtintensität wirkt in der dünneren Luft viel stärker auf die Pflanzen ein, und wir finden deshalb an den Hochgebirgspflanzen alle jene Erscheinungen wieder, die schon in früheren Kapiteln als Schutzmittel besprochen worden sind. Besonders häufig sind dichte Behaarung, wie sie ganz auffallend beim Edelweiß auftritt. Intensive Beleuchtung wirkt aber auch hemmend auf das Wachstum der Pflanzen und dies sowohl wie die große Gewalt des Windes bedingen den niedrigen Wuchs der Alpenpflanzen. Sehr häufig findet sich ein rosettenartiger Wuchs, die Blätter sind sämtlich grundständig, oft flach an den Boden gedrückt, während sich aus ihrer Mitte der blattlose oder wenig beblätterte Blütenschaft erhebt. Der rosettenartige Wuchs, die dichte Aneinanderdrängung der Blätter

hindert auch gleichzeitig eine zu starke Wärmeabgabe in den kalten Nächten des Hochgebirges, was für die Pflanzen, die ohnehin nur eine kurze Vegetationsperiode haben, wesentlich ins Gewicht fällt, auch wenn man dabei gar nicht die Frostgefahr berücksichtigt, gegen welche Alpenpflanzen ziemlich unempfindlich sind.

Eine andere auffallende Erscheinung, die mit der größeren Lichtintensität zusammenhängt, sind die leuchtenden Blütenfarben. Je höher, desto intensiver sind die Blüten gefärbt, und das gilt nicht bloß von den verschiedenen Arten, die in höheren oder tieferen Regionen wachsen, sondern auch von ein und derselben Art. Dieselbe Pflanze, die in der Ebene nur eine matte Blütenfarbe besitzt, zeigt eine viel lebhaftere Färbung im Gebirge, während umgekehrt die prachtvollen Farben der Hochgebirgsblumen verblasen, wenn sie in den botanischen Gärten des Tieflandes gezogen werden. Schon an unseren gewöhnlichen Gänseblümchen ist der Unterschied zu erkennen; im Tieflande sind die weißen Randblüten oft nur vereinzelt auf der Außenseite rosa angehaucht; in einer Erhebung von wenigen hundert Metern über dem Meere zeigen sie oft schon eine karminrote Farbe, und bei noch höherem Standort werden die Randblüten auch auf der Innenseite rosa.

Die einzelnen Faktoren lassen sich in ihrem Einfluß allerdings nicht immer auseinanderhalten, und meist werden sie auch gemeinsam an den Erscheinungen, die uns die Gebirgsflora bietet, beteiligt sein. Sie wirken aber auch in sehr verschiedener Weise und besonders in sehr verschiedener Intensität, je nach der Lage und der Beschaffenheit des Standortes. Die Nordseite eines steilen Berges wird sogar verhältnismäßig weniger Licht empfangen als die Ebene, die Temperaturschwankungen werden dagegen, wenigstens soweit es die Lufttemperatur über dem Boden betrifft, geringer sein. Der Einwirkung des Windes sind einzelne Seiten des Berges stärker ausgesetzt als andere, ebenso sind die Niederschlagsmengen auf den verschiedenen Seiten eines Berges durchaus nicht immer gleich; namentlich macht sich dies im Verlauf von ganzen Gebirgen in hohem Grade geltend. Durch die Richtung der Gebirgszüge wird auch vielfach die Richtung der herrschenden Winde bis zu einem gewissen Grade beeinflusst, und manche Abhänge sind vor dem gleichen Winde geschützt, dem andere ebenso gelegene ausgesetzt sind.

Dazu kommen noch lokale Einflüsse, die aber oft das ganze Vegetationsbild verändern. Ein enges, geschütztes Tal kann noch weithinauf eine Pflanzenwelt beherbergen, die auf den nur wenige Meter überhöhenden Rändern längst verschwunden ist. Freilich reicht diese Wirkung des Schutzes auch nicht bis in die Region des ewigen Schnees hinein, hier hört jede Vegetation auf, nur vereinzelt haften kümmerliche Flechten an dem nackten Gestein, und die Alge des roten Schnees überzieht stellenweise mit ihrem trüben Rot die weißen Felder. Flechten sind es auch, die am höchsten über die Region des ewigen Schnees steigen und sich an einzelnen steilen Felswänden, an denen der Schnee nicht haften kann, ansiedeln. Später gesellen sich auch einzelne Moose hinzu, und wenig tiefer kommen auf einzelnen Inseln im Eismeer auch schon die ersten Blütenpflanzen, Arten der Gattung *Androsace*, Gräser und vereinzelt andere, aber stets niedrige Gewächse. Dann folgt weiter abwärts die Zone der Grasvegetation, die Alpen-

matten, die hauptsächlich aus Gräsern und den prachtvollen Alpenblumen bestehen. Noch tiefer beginnt der Baumwuchs, zuerst in der Form niedriger, vom Sturm zerzauster Büsche, in unsern Alpen gewöhnlich als Latschen oder Knieholz, und erst hierauf kommt die eigentliche Waldregion. Unter den waldbildenden Bäumen stehen wieder die Nadelhölzer, Fichte, Lärche und Arve an der oberen Baumgrenze; erst wesentlich tiefer mischen sich auch Laubhölzer unter das eiförmig dunkle Grün der Koniferen, bis sie zuletzt vielfach überwiegen und am Fuß des Gebirges geschlossene Buchenwälder auftreten. Im einzelnen liegen die verschiedenen Zonen natürlich sehr ungleich hoch. In den Alpen liegt die Grenze des ewigen Schnees in einer Höhe von 2500—2800 m, auf den tropischen Bergwiesen viel höher. In Grönland steigt sie bis zum Meeresspiegel herab. Dementsprechend verschieben sich auch die Höhenlagen der einzelnen Zonen, je weiter nach Süden, um so höher müssen wir an den Bergen in die Höhe steigen, um etwa eine Region zu finden, die unsern Alpenmatten entspricht, je weiter nach Norden, um so tiefer zieht dieselbe Region herab. Ja das Polarland selbst und die subarktischen Gebiete finden wir durch eine ähnliche Pflanzenwelt in unseren Hochgebirgen vertreten, sogar bis auf die gleichen Arten herab. Unsere Hochalpen haben einen beträchtlichen Prozentsatz ihrer Pflanzen, besonders Saxifragaceen mit dem hohen Norden gemein; ähnliche Lebensbedingungen hier wie dort ließen die an Kälte gewöhnten Pflanzen der Glazialzeit am Leben, während sie dazwischen, durch die veränderten Temperaturverhältnisse bedingt, dem Andringen neuer Ansiedler erlagen. Wie Oasen ragen dann noch vereinzelt Gebirgskuppen aus dem Hügel- und Flachlande Mitteleuropas hervor, die in ihren höchsten und schroffsten Schluchten und Tälern noch einen Teil der arktischen Flora als „Relikten aus der Eiszeit“ bewahrt haben, so die Schneekoppe im Riesengebirge. Der Basalt der kleinen Schneegrube ist ja geradezu eine klassische Fundstelle für solche arktische Formen.

Zwischen 2000 und 2300 m bis an die Grenze des ewigen Schnees dehnen sich die baum- und strauchlosen Alpenmatten aus. In geschützten Kesseln können sich auch in dieser Höhe noch einzelne Büsche entwickeln, so am Albulapass einzelne Gebüsche von *Rhododendrum hirsutum*, die dann oft noch im August den Alpenwanderer mit ihren schönen roten Blüten entzücken, während sie weiter unten längst verblüht sind. Allmählich gehen die Matten in dieser Höhe in strauchbewachsene Flächen über, die nach unten zu immer mehr den Charakter des geschlossenen Nadelwaldes annehmen. Das ist in den Alpen zwischen 1700 und 1900 m der Fall, die Arve und stellenweise auch die Lärche überschreiten sogar an einigen Stellen noch die letztgenannte Höhe, so im Engadin, wo auch die Fichte noch in beträchtliche Höhen hinaufreicht.

Die Region des Laubwaldes hört freilich schon viel früher auf; in den Alpen bei etwa 1300 m; darüber hinauf kommen gewöhnlich nur eingesprengt in das Nadelholz vereinzelter Laubhölzer vor. Auf der Nordseite liegen diese Zonen um etwa 100 bis selbst 300 m tiefer als auf der Südseite der Alpen.

Man sollte nun meinen, daß in den Gebirgen der Tropen besonders die Waldzone sehr viel weiter an den Bergen in die Höhe klettert als in den Alpen; das ist

aber im allgemeinen nicht in dem Maße der Fall als nach den klimatischen Verhältnissen des tieferen Landes erwartet werden könnte. Die Wälder gehen vielleicht 1000 m höher an den Bergen empor, und die Bäume werden oft in diesen Regionen schon zwergartig, strauchtig. Hier spielen eben die Verhältnisse der Höhenlage eine entscheidende Rolle, die zunehmende Verdünnung der Luft und die damit zusammenhängenden Erscheinungen, geringerer Feuchtigkeitsgehalt der Luft und sehr gesteigerte Verdunstung, starke Erwärmung durch die Sonnenstrahlen bei gleichzeitig niedriger Lufttemperatur, vor allem die außerordentlich viel intensivere Beleuchtung, die mit zunehmender Höhe immer mehr ihren wachstumshemmenden Einfluß geltend macht. Auch die größere Gewalt der Stürme in diesen Höhen verhindert das aufrechte Wachstum und führt zu ähnlichen Krüppelformen, wie auf den Nordseeinseln.

Die eigentliche tropische Flora hört bereits bei einer Höhe von ca. 1500 bis 1700 m auf, dann folgen Regionen von Laubhölzern, die bis zu einem gewissen Grade den unseren ähneln und oft nur bis zu 3000 m reichen; manchmal schließt sich daran noch ein Nadelholzgürtel, der jedoch selten über 3500 m aufsteigt, vielen tropischen Gebirgen fehlen aber die Nadelhölzer, und an ihrer Stelle tritt Gestrüpp auf. Bis zur Schneegrenze, die unter den Tropen etwa bei 4600–4900 m beginnt, ziehen sich dann Alpenmatten mit Gräsern und niedrigen Blütenpflanzen. Gewöhnlich hört aber schon einige hundert Meter unter der Grenze des ewigen Schnees die Vegetation völlig auf, weil die Verdünnung der Luft und die damit zusammenhängenden, oben besprochenen Eigenschaften des Höhenklimas dem Pflanzenwuchs feindlich entgegengetreten. Hier liegt ein Unterschied gegenüber den Polarländern und den Hochgebirgen unserer Zone; in ihnen entwickelt sich, wenn auch kümmerlich, noch Pflanzenleben bis an die Grenzen des ewigen Schnees, in den Alpen der Tropen ist das nicht mehr der Fall, obwohl das Fehlen des Schnees beweist, daß nicht die Temperaturverhältnisse das Fehlen des Pflanzenwuchses bedingen. Andere Faktoren wirken hier mächtiger als die Wärme.

IX. KAPITEL

Die Ausnutzung der Raumverhältnisse

Von den vielen Millionen Samen, die ein großer Pappelbaum alljährlich hervorbringt, wird kaum einmal einer wieder zu einer stattlichen Pappel heranwachsen. Von den übrigen wird ein großer Teil überhaupt gar nicht zum Auskeimen kommen, weil er von Tieren gefressen, von Pilzen zerstört wird oder an Stellen gelangt, die ihm keine Lebensbedingungen gewähren. Ein anderer Teil wird zwar auskeimen, aber früher oder später im Kampf um Raum und Licht von andern Pflanzen überwuchert werden und untergehen.

Und so geht es auch allen andern Pflanzen. Die Erde trägt so viel Pflanzen, als Raum vorhanden ist, und im allgemeinen können sich alljährlich nur so viel Pflanzen neu entwickeln, als vorher abgestorben waren. Da aber jedes Individuum

viel mehr Samen bildet, als sich Pflanzen entwickeln können, so ist die große Mehrzahl junger Keimlinge von vornherein zum Tode verurteilt.

Man kann namentlich im Frühjahr diesen Kampf um den Raum sehr gut beobachten. An Zäunen unter Hecken sieht man oft unzählige Keimpflänzchen dicht gedrängt, fast rasenartig aufschießen, hunderte auf einem Raum, den vielleicht eine einzige Mutterpflanze einnahm. Und hier beginnt der Kampf ums Dasein, der in erster Linie eine Raumfrage, also ein Kampf um die Wohnung ist, vom Tage der Keimung an in erbitterter Weise. Sehr häufig sind es Geschwister, von einer Mutterpflanze stammend, die so lange miteinander um den Raum ringen, bis nur einige oder wenige der Kräftigsten sich zu erhalten vermögen, während sie die schwächeren Geschwister überwuchern und zum Absterben bringen. Nirgends offenbart sich die zwar zur Erhaltung eines kräftigen Geschlechtes notwendige, aber rücksichtslos grausame Härte der Natur deutlicher, als in dem stillen, aber zähen Kampfe der jungen Pflänzchen gegeneinander. Sie sind von Natur aus vielleicht alle gleich oder annähernd gleich gesund und kräftig, aber das Würzelchen des einen stößt vielleicht mit der Spitze auf ein kleines Steinchen und muß einen Umweg machen, um dasselbe zu umwachsen und tiefer in den Boden dringen zu können. Das hat vielleicht nur wenige Stunden gedauert, aber doch hingereicht, um dem glücklicheren Nachbar einen Vorsprung zu geben, und das Schicksal des Pflänzchens ist besiegelt.

Kommt man nach einigen Tagen wieder an der Hecke vorbei, so wird man zwar eine erhebliche Entwicklung der Pflänzchen wahrnehmen, aber bei genauer Betrachtung feststellen, daß ihre Zahl sehr viel geringer geworden ist, kaum noch $\frac{1}{3}$ oder $\frac{1}{4}$ von ihnen ist am Leben. Und so geht es jetzt rasch weiter, kommen die Pflanzen zur Blüte, so lebt vielleicht noch eine von den Hunderten, die da im Frühjahr so hoffnungsvoll keimten und schließlich dem Raummangel erlagen.

Die überreiche Produktion von Samen ermöglicht es aber auch wieder den Pflanzen jedes nur irgend zur Ansiedelung geeignete Plätzchen auszunützen; wo nur die Möglichkeit zur Entwicklung gegeben ist, stellt sich auch ein Samenkorn ein, um das Fleckchen zu besiedeln. Dabei kommen freilich auch merkwürdige Naturspiele vor. So hat sich beispielsweise eine junge Fichte unweit Eisenach auf dem Kopf einer alten Weide angesiedelt und ist trotz dieses unnatürlichen Standortes schon zu einem stattlichen Stämmchen herangewachsen (Fig. 120).

Auf den ersten Blick erscheint es unbegreiflich, wie ein hinsichtlich des Standortes doch immerhin ziemlich anspruchsvoller Baum, wie die Fichte, sich viele Jahre auf einer Kopfweide halten und sogar gut entwickeln kann. Bei näherem Zusehen findet man aber des Rätsels Lösung: die Kopfweide ist hohl, und die junge Fichte, die sich zuerst auf dem Kopf entwickelt hatte, hat ihre Wurzeln nach und nach durch den ganzen hohlen Stamm getrieben, bis sie den Erdboden erreichten und sich dort verzweigen und verankern konnten. So stellt die hohle Weide gewissermaßen nur die Schutzhülle für den oberen Teil der Fichtenwurzel dar, die Fichte selbst wurzelt bereits im Boden.

Je ungünstiger die Bedingungen sind, unter denen sich Pflanzen entwickeln,

desto geringer wird sich die Zahl der Individuen auf gleich großer Bodenfläche gestalten; nur einzelne werden den Kampf mit den ungünstigen Verhältnissen bestehen und wieder Samen tragen, die Mehrzahl wird nicht dazu kommen. In den Polarländern wird oft der weitaus größere Teil der blühenden und fruchtenden Pflanzen vom Frost überrascht, ehe die Samen gereift sind, nur einzelne an besonders günstigen oder geschützten Stellen entwickelte Pflanzen haben ihre



Fig. 120. Fichte aus dem Kopf einer Weide hervorgewachsen

Samen sämtlich ausgereift. Die Samenproduktion wird also von vornherein in solchen Gebieten eine erheblich geringere sein als an Orten, wo kein Frost in der Entwicklung des Individuums hindernd eingreift. Je üppiger der Pflanzenwuchs ist, desto mehr Keime werden erzeugt, und je günstiger die Lebensbedingungen sind, für desto mehr Keime reichen sie zur Entwicklung auf gleichem Raum aus. Während an der Grenze des ewigen Schnees, auf dem sterilen Sande der Dünen oder in dem sonnendurchglühten, durstigen Boden der Wüste die Pflanzen vereinzelt und weit voneinander entfernt stehen, so daß die tausendfache Individuenzahl bequem Platz hätte, ist in den feuchtheißen Regenwäldern der Tropen kein freies Plätzchen am Boden zu finden, das überhaupt nur einen Lichtschein

erhält. Alle Bedingungen für eine üppige Entwicklung sind in reichlicher Fülle vorhanden, nur der Raum dazu ist zu knapp bemessen.

Raum- und Lichtmangel treibt die Pflanzen in die Höhe; die einen wachsen mit schlankem, starken Schaft dem Licht entgegen und suchen so rasch wie möglich aus dem Gewühl der niederen Kräuter sich zu erheben, die andern können aus eigener Kraft nicht in die Höhe wachsen, sie lehnen sich an ihre stärkeren Geschwister an und klettern an ihnen empor. Noch andere ziehen es vor, sich überhaupt gleich in den höheren Regionen des Waldes anzusiedeln und von den wachsenden Stämmen in die Höhe tragen zu lassen. Je günstiger die Lebensbedingungen, desto mehr wird jedes Fleckchen Raum und jeder Lichtstrahl ausgenützt, und deshalb birgt gerade der Tropenwald eine solche Fülle von Kletterpflanzen und Epiphyten.

Kletternde Pflanzen fehlen zwar auch bei uns nicht, wir haben sogar Arten, die in mancher Beziehung an die tropischen Formen erinnern. Dahin gehört in erster Linie der Efeu, dessen schlanke Sprosse nicht imstande sind, das Gewicht des eigenen Körpers zu tragen, aber doch das Bestreben haben, aufwärts, dem Licht entgegenzuwachsen. Erreicht er eine Mauer, eine Felswand oder einen Baumstamm, so legt sich der junge Sproß eng an ihn an und treibt nach der Unterlage zu, vom Licht abgewendet, zahlreiche Wurzeln, die sich in Ritzen und Spalten der Rinde oder des Felsens verankern und das Stämmchen festhalten. Sie dringen nicht in das lebende Gewebe der Pflanze ein und entnehmen dieser keine Lebenssäfte, nur festklammern und die an der Rinde herabrieselnde Feuchtigkeit aufnehmen ist ihre Aufgabe. Allmählich entstehen immer mehr Wurzeln und immer mehr Verzweigungen des Sprosses, die neue Wurzeln treiben und das erstarkende Stämmchen an das Substrat heften. Der Efeu klettert immer höher am Stamm, an der Mauer empor und bildet zuletzt mehr als armdicke Stämme, die in reicher Verzweigung Bäume ganz umspinnen und so auch für den allmählich immer schwerer werdenden eigenen Körper hinreichenden Halt gewinnen.

Eine andere, auf Kalkboden und in den Auenwäldern der Niederungen verbreitete Pflanze, die nicht aus eigener Kraft in die Höhe kommt und doch bis in die Baumkronen unserer Mittelwälder hinaufwächst, ist die Waldrebe (*Clematis vitalba*), die man nicht mit Unrecht als die Liane unserer Wälder bezeichnet hat. Aber sie gelangt in einer ganz anderen Weise in die Höhe als der Efeu. Ihre jungen rasch wachsenden Sprosse beschreiben mit der Spitze während des Wachstums Kreise, und wenn sie dabei einen Zweig oder ein nicht zu dickes Stämmchen einer anderen Pflanze berühren, so schlingen sie sich um dasselbe herum, sie winden. Auf diese Weise haben sie einen Stützpunkt gewonnen, von dem aus sie von neuem nach oben streben können, bis sie wieder einen Ast erreichen. Mit der Zeit gelangt das kaum bleistiftdicke, aber sehr zähe Stämmchen in Höhen bis zu 10 Meter und bildet bei seiner reichen Verzweigung und seinen oft vom Boden aus umeinander gewundenen Sprossen ein derartiges Gewirr verflochtener, rankenartiger Zweige, daß man sich oft mit dem Messer in solchen reich von der Waldrebe bewachsenen Wäldern Bahn brechen muß. Die weißen, silberhaarigen Früchte bedecken dann an freien Stellen die von der Waldrebe über-

spinnenen Bäume in einer Weise, daß sie, wie die in Fig. 121 abgebildeten Fichten wie beschneit erscheinen.

Die Waldrebe stellt gleichzeitig den Typus der Schlingpflanzen oder windenden Pflanzen dar, von denen noch eine beträchtliche Zahl von Arten bei uns vorkommen, wenn sie auch weniger große Dimensionen erreichen. Am nächsten kommt ihr noch der Hopfen, der nicht bloß angebaut, sondern auch wild in



Fig. 121. Waldrebe, Fichten überziehend

den Gebüschcn unserer Bach- und Flußufer häufig ist. Windende Pflanzen sind ferner die Zaunwinde (*Calystegia sepium*), die mit ihren großen trichterförmigen, reinweißen Blüten aus den Hecken der Zäune und Flußufer hervortritt, ferner die Ackerwinde mit ihren kleineren, aber zart rosa gefärbten und schwach duftenden Blüten, die sich an den Getreidehalmen emporschlingt. In den Blättern ähnlich ist ihr eine Knöterichart, *Polygonum Convolvulus*, der auch eine, wenn auch nicht sehr auffallende Schlingpflanze ist. Auch die Stangenbohnen gehören hierher.

Wieder eine andere Weise zu klettern zeigt die Rebe, der wilde Wein, die Erbse,

die Wickenarten, auch Gurken und Kürbis, die bei der Art ihrer Kultur dazu bei uns allerdings wenig Gelegenheit haben. Aber die einzige bei uns wildlebende Verwandte, die Zaurübe (*Bryonia*) klettert in Gebüschern sehr gut und auch ziemlich hoch, obgleich sie sehr zarte Stämmchen hat. Bei allen diesen, als rankende Pflanzen bezeichnete Arten bilden sich besondere, dem Klettern dienende Organe, die Ranken, aus. Es sind dies teils Blätter, teils Sprosse, die eine Umbildung in dünne, fadenförmige, oft verzweigte Organe erfahren haben, die durch Berührung in hohem Grade reizbar sind. Trifft nämlich eine solche Ranke bei ihrem Wachstum und den dabei stattfindenden kreisenden Bewegungen einen Zweig oder ein Stämmchen, so krümmt sie sich an der Berührungsstelle ein; dadurch kommt naturgemäß ein weiteres Stück der Ranke mit dem Gegenstand in Berührung und reagiert auf den Reiz in derselben Weise durch Einkrümmung, so daß sich schließlich die Ranke mit ihrem freien Ende um den Gegenstand, wenn er nicht zu dick ist, herumwickelt. Dadurch hat die rankende Pflanze einen Halt gewonnen, aber die Ranke bewirkt noch in anderer Weise ein Emporziehen der Pflanze. Hat sich nämlich ihr Ende fest um einen Zweig gewickelt, so beginnt der zwischen dem Zweig und dem Ausgangspunkt der Ranke befindliche Teil derselben sich schraubig einzurollen, und zwar von der Mitte aus nach den beiden Enden zu in verschiedener Richtung, einem Umgang nach rechts entspricht auf der anderen Seite ein Umgang nach links, weil ja sonst eine Bildung der Spiralen entweder mit einer Drehung der rankenden Pflanze oder des umrankten Zweiges verbunden sein müßte, was natürlich unmöglich ist. Durch diese Einrollung der Ranke wird aber diese kürzer, die rankende Pflanze selbst wird dadurch emporgezogen, wenn der umrankte Zweig fest genug ist, um das Gewicht der Pflanze tragen zu können. So hält sich die Pflanze mit den Ranken nicht bloß fest, sondern wird auch straff in die Höhe gespannt.

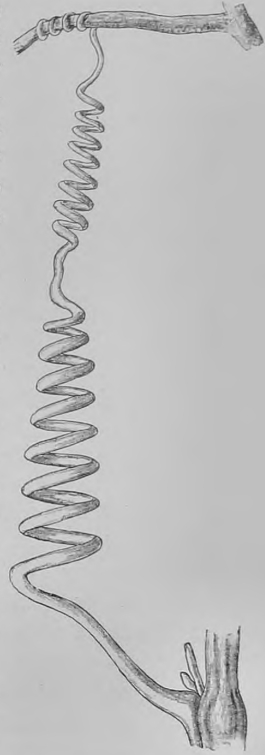


Fig. 122. Eingerollte Ranke der Zaurübe (*Bryonia*)

Manche Ranken besitzen auch die Fähigkeit, auf ziemlich glatten Flächen, wie abgeputzten Mauern, zu haften, wie die von *Ampelopsis Veitchii*, einer zierlichen kleinblättrigen Art, die zur Bekleidung von Mauern sich sehr gut eignet. Die verzweigten Ranken dieser Pflanze besitzen zwar auch die Fähigkeit, zu ranken, aber sie vermögen außerdem noch, wenn sie an Flächen kommen, an denen ein Ranken unmöglich ist, am Ende der Verzweigungen kleine Haftscheiben zu entwickeln, die zwischen die feinsten Lücken und Ritzen des Mauerwerkes oder der Rinde eindringen und so durch Wachstum sich einkeilen, daß man eher die Ranke zerreißt als die Haftscheiben entfernen kann. Die kleinen verzweigten Ranken mit ihren Haftscheiben haben eine



ähnlicher Weise an Felsen in die Höhe und bilden, nachdem sie ein oft sehr beträchtliches Netzwerk von untereinander verwachsenen Haftwurzeln ausgebildet haben, darüber oft einen aufrechten, allerdings meist nicht sehr hohen Stamm.

Lianen, die besonders den tropischen und subtropischen Regenwäldern ein so eigenartiges Gepräge verleihen, sind Holzpflanzen von sehr verschiedener systematischer Stellung; allen gemeinsam ist nur die Fähigkeit, sich in irgendeiner Weise anderer Pflanzen als Stützen zu bedienen, um ihren Stamm emporzubringen, da dieser zu schwach ist, das Gewicht des eigenen Pflanzenkörpers zu tragen. Von anderer Seite werden überhaupt alle kletternden, windenden und rankenden Pflanzen, auch wenn sie nicht zu den Holzpflanzen gehören, als Lianen bezeichnet, vorausgesetzt, daß sie im Boden wurzeln, also nicht der gleichfalls im tropischen Regenwalde besonders verbreiteten Epiphytenflora angehören.

Vor den Bäumen, deren Stamm durch eigene Kraft in die Höhe gelangt, haben die Lianen einen wesentlichen Vorteil voraus, sie brauchen nicht so viel Baustoffe zur Festigung ihres eigenen Stammes zu verwenden, weil sie sich ja fremder Stütze bedienen. Die dabei gesparten Stoffe können sie zu einem rascheren Längenwachstum verwenden, sie kommen daher rascher ans Licht als andere Pflanzen, und dieses Streben nach Licht herrscht ja bei allen Pflanzen üppiger Vegetationsgebiete. Dieses Streben, möglichst rasch in möglichst reichen Genuß des Lichtes zu kommen, prägt sich bei den Lianen nicht nur durch das ungemein rasche Längenwachstum der Sprosse, sondern auch dadurch aus, daß sich an den langen, in die Höhe strebenden Sprossen erst verhältnismäßig spät die Blätter entwickeln. Sehr oft treten erst die der Anheftung dienenden Organe an den Sprossen der Kletterpflanzen auf, ehe die eigentlichen Assimilationsorgane entfaltet werden. Alle anderen Funktionen treten zunächst zurück vor dem Streben, die Höhe, das Licht zu gewinnen. Die Verzweigungen bleiben spärlich oder fehlen ganz, solange der Sproß noch im Schatten wächst, erst wenn Licht und Luft ungehinderten Zutritt haben, was meist mit dem Erreichen der Baumwipfel der Fall ist, tritt oft ganz plötzlich eine reiche Verzweigung ein. Auch Blüten und Früchte werden erst gebildet, wenn sich die Lianen, in den Baumwipfeln angelangt, verzweigen können, auch schon deshalb, weil die meist insektenblütigen Arten nur hier, im freien Licht auf hinreichenden Besuch ihrer Blüten durch Insekten rechnen dürfen. Auch die Länge der Internodien, die im Waldesschatten zu einer ganz außerordentlichen wird, bleibt am Licht erheblich zurück.

Dem eigenartigen biologischen Verhalten entspricht auch der meist ziemlich abweichende innere Bau des Lianenstammes. Sehr oft zeigt der Stamm eine flach bandförmige Gestalt oder es bilden sich in einem Stamm mehrere verschiedene



Fig. 124.
Stück eines
Stammes von
*Paullinia
cupanea*

Holzkörper aus, die schließlich, wie bei Paulliniaarten, sich stellenweise voneinander lösen können. In vielen Fällen zeichnet sich der Lianenstamm durch außergewöhnlich große Gefäße aus, die wieder nicht selten durch dünnwandiges Holzparenchym in einzelne Gruppen getrennt sind. Dagegen bleiben die Gefäße im primären Holz und auch noch anfangs im sekundären auffallend klein, kaum von den übrigen Elementen des Holzteils unterscheidbar, der Übergang zu den großen Gefäßen ist in der Regel ein ganz plötzlicher.

Diese auffallende Verschiedenheit zwischen den Gefäßen des innersten axialen Holzes und denen des später entwickelten hat seine Ursache in dem ganz ungleichen Wasserbedürfnis der Liane. So lange sie noch in die Höhe wächst, hat sie, wie oben erwähnt, gewöhnlich keine Blätter entwickelt, wenigstens nicht an den stark in die Länge wachsenden Sproßabschnitten, es fehlen ihr also auch die großen verdunstenden Flächen, und zur Wasserzufuhr genügen die verhältnismäßig engen Leitungsröhren. Sobald aber Blätter entwickelt werden, steigert sich der Wasserbedarf gleich um das Vielfache und die Gefäße, in denen sich ja hauptsächlich der Transpirationsstrom bewegt, müssen plötzlich viel weiter werden. In älteren dicken Lianenstämmen vermag sich in diesen weiten Gefäßen eine sehr bedeutende Menge Wasser anzusammeln, und da die Gefäße zu weit sind, so fließt es aus, wenn man einen Lianenstamm oben und unten durchschneidet; aus dem herausgehauenen Stück treten solche Wassermengen aus, daß sie zur Stillung des Durstes ausreichen. Freilich zeigen nur einige Arten diese in den Tropen so erwünschte wasserspendernde Eigenschaft, und man bezeichnet sie speziell als „Wasserlianen“.

Wie schon erwähnt, gehören die Lianen den verschiedensten Familien an, doch sind in einigen, z. B. unter den Sapindaceen, Malpighiaceen, Bignoniaceen und Leguminosen besonders zahlreiche Lianen vorhanden. Zu der letztgenannten Familie gehört auch die Gattung *Wistaria* (Glycine), die in Deutschland vielfach zur Bekleidung von Mauern und Lauben verwendet wird und durch ihre prachtvollen hellblauen Blütentrauben auffällt. Sie vermag freilich nicht an der glatten Mauer emporzuklettern, sondern bedarf irgendwelcher Stützen, eines Gitters oder ausgespannter Drähte.

Ebenso wie die Lianen stellen auch die Epiphyten vorzugsweise eine Pflanzengruppe dar, die der Kampf um das Licht zum Verlassen des Waldbodens gezwungen hat. Denn der Waldboden in jenen tropischen Regenwäldern, in denen sich die epiphytische Flora am großartigsten entwickelt hat, ist oft so stark beschattet, daß auch die genügsamsten Pflanzen nicht mehr Licht genug für ihre Existenz bekommen.

Aber zugleich mit dem Licht tritt auch der Mangel an Raum als Faktor bei der Entstehung der Epiphytenformen auf; das mag besonders gelten für manche niedere Pflanzen, für Flechten und Moose. Beides hängt ja aber eng zusammen; wo der Raum fehlt, herrscht auch Lichtmangel. Je reicher sonst die Lebensbedingungen sind, desto mehr wird das Licht zum ausschlaggebenden Faktor.

Nicht alles, was auf Bäumen wächst, kann mit dem Namen Epiphyt bezeichnet werden. Denn es gibt auch Pflanzen, wie unsere Mistel, die zwar auch

auf Holzgewächsen lebt, aber gleichzeitig in das lebende Gewebe derselben eindringt und ihnen Nährstoffe entzieht, sie ist also ein Parasit. Das tun aber die Epiphyten nicht, sie dringen mit ihren Wurzeln nicht in die Wirtspflanze ein und schädigen sie nicht direkt durch Nahrungsentziehung, aber nützlich sind sie der Pflanze freilich durchaus nicht. Denn in dem Ringen um das Licht entwickeln sie sich oft kräftiger als der Wirt und nehmen diesem schließlich selbst das Licht weg, überwuchern ihn so, daß er zuletzt abstirbt. Oft halten sich solche mächtige schon längst abgestorbene und vermoderte Stämme noch viele Jahre aufrecht, weil sie in ein solches Gewebe von Lianen und Epiphyten verstrickt sind, daß sie gar nicht umfallen können. Dann haben es die Epiphyten noch besser, sie brauchen den Kampf um das Licht nicht mehr mit dem Laube der Wirtspflanze auszufechten.

Wie vielseitig die Natur der Epiphyten ist, mag zunächst an einer tropischen *Utricularia* gezeigt werden. Die Utrikularien sind teils Land-, teils Wasserpflanzen, zu den letzteren gehört auch *U. nelumbifolia*, die sich in den Wasseransammlungen einstellt, welche in den Blattrosetten verschiedener Bromeliaceen, besonders auch der Gattung *Vriesea* vorhanden sind. In den alten Blattrosetten entwickeln sich aber neue, die älteren sterben nach und nach ab, halten das Wasser nicht mehr fest und werden auch schließlich so beschattet, daß die *Utricularia* ihre Existenzbedingungen darin nicht mehr finden und eingehen würde. Dagegen schützt sie sich, daß sie nach oben zu Ausläufer treibt, die in die neue Blattrosette gelangen, mit dieser in die Höhe wachsen und sich in ihr zu neuen Pflanzen entwickeln. In demselben Verhältnis, als die alten *Vriesea*-abblätter absterben, stirbt auch die *Utricularia*-pflanze unten ab und entwickelt dafür nach oben zu neue Sprosse und an diesen neue Pflanzen, sie wächst also vollständig mit der *Vriesea* in die Höhe. Ähnlich verhalten sich noch einige andere tropische Arten dieser biologisch überhaupt äußerst interessanten Gattung.

Wasserpflanzen sind freilich unter den Epiphyten selten und eben nur auf solche abnorme und eigenartige Fälle beschränkt. Im Gegenteil, die meisten haben recht oft mit Durst zu kämpfen, auch Nahrungssorgen stellen sich ein, denn ebenso, wie andere Pflanzen, brauchen sie ein gewisses Quantum anorganischer Verbindungen, die sie nicht aus der Luft aufzunehmen vermögen, Salze, die im Boden wurzelnde Arten meist ohne Schwierigkeit mit dem Bodenwasser beziehen. Ihnen dagegen fehlen sowohl das Bodenwasser, als auch die in ihm gelösten Salze, sie sind in bezug auf die letzteren auf die geringen Mengen beschränkt, die sich ansetzender Staub oder zerfallene abgestorbene Rindenteile der Wirtspflanze enthalten, und die das herabrieselnde Regenwasser aus ihnen auslaugt. Niemals wird ihnen aber davon eine so bedeutende Menge zur Verfügung stehen, daß sie damit den Aufwand für eine umfangreiche Entwicklung ihrer vegetativen Teile bestreiten könnten. Die Epiphyten sind deshalb zumeist kleine Pflanzen.

Die Hauptschwierigkeit für die Epiphyten liegt aber in der Beschaffung des nötigen Wassers. Zwar gibt es einige Pflanzen, die auch vollkommen austrocknen können, ohne dabei abzusterben, wie besonders Flechten und einige

Moose, indessen die gerade dem tropischen Urwald seinen eigenartigen Reiz verleihenden Epiphyten sind Blütenpflanzen, die eine solche Austrocknung nicht vertragen. Im tropischen Regenwalde ist die Gefahr des Vertrocknens bei der Reichhaltigkeit der Niederschläge und der gewöhnlich hohen Luftfeuchtigkeit allerdings nicht so groß, aber sie steigert sich doch, je höher die Epiphyten an den Stämmen in die Höhe steigen und von den glühenden Sonnenstrahlen und der Luft getroffen werden. Am Grunde der Stämme ist die Luft viel feuchter, die Verdunstung geringer, Luftströmungen machen sich weniger bemerkbar, so daß die Wasserabgabe hier im Verhältnis zu der zu Gebote stehenden Wassermenge unbedeutend ist. Die hier wachsenden Pflanzen brauchen deshalb auch keine

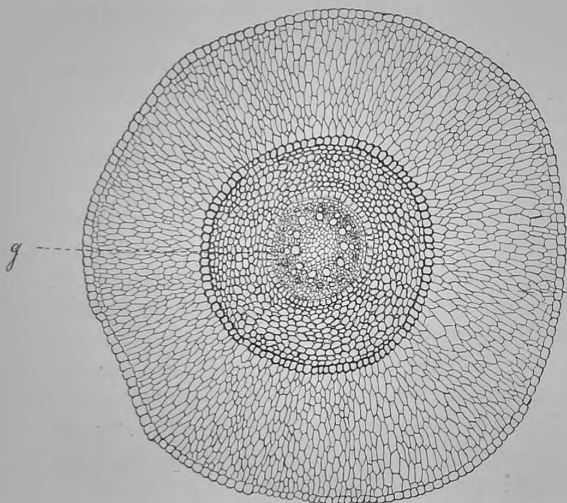


Fig. 125. Velamen einer Orchideenluftwurzel

besonderen Schutzeinrichtungen gegen zu große Wasserabgabe. Wohl aber ist das nötig bei den in den Baumwipfeln lebenden, der intensivsten Sonne und austrocknenden Luftströmungen ausgesetzten Individuen.

Deshalb findet sich gewöhnlich in den Wipfeln der Bäume eine ganz andere Epiphytenflora, als am unteren Teil der Stämme, und diese Verschiedenheit wird bedingt durch die größere oder geringere

Fähigkeit der Epiphyten, sich vor zu großer Wasserabgabe zu schützen. Die am höchsten wachsenden Epiphyten sind deshalb meist durchaus Xerophyten, je weiter abwärts sie wachsen, desto mehr verliert sich ihre xerophile Struktur. Aber daneben entwickeln sich noch mancherlei Eigentümlichkeiten, die im Boden wurzelnde Pflanzen xerophilen Charakters nicht haben, und die mit der Wasserversorgung in ihrer besonderen Form bei Epiphyten zusammenhängen.

So legen sehr viele Epiphyten besondere Wasserspeicher an, ähnlich wie die Sukkulenten; man findet besonders bei Orchideen oft dicke, fast knollenartige Blätter, deren Innengewebe ähnlich wie bei den Crassulaceen hauptsächlich die Aufgabe hat, große Mengen Wasser aufzunehmen und für den Bedarfsfall bereitzuhalten. Merkwürdig aber ist, daß dieses Speichergewebe bei manchen Pflanzen (z. B. bei einigen epiphytischen Gesneraceen) gerade in alternierenden Blättern bis auf das Doppelte des Durchmessers zunimmt, indem sich die Zellen erheblich vergrößern; die alten Blätter werden also hier geradezu als Wasserspeicher für die Pflanze ausgebildet. In andern Fällen sind es knollig an-

geschwollene Teile des Blattstieles, oder Knollen, Zwiebeln, die als Wasserspeicher dienen.

In selteneren Fällen wird das Wasser in großen Interzellulargängen gespeichert, so bei *Philodendron canniifolium*; in trockener Zeit stellen die Interzellulargänge ein luftführendes, schwammiges Röhrenwerk dar, wie es ähnlich bei manchen Wasserpflanzen zu finden ist. Tritt dann Wasserzufuhr ein, so saugt sich dieses Lufröhrenwerk wie ein Schwamm voll und gibt das Wasser nach Bedarf an die lebenden Zellen ab. Bei vielen epiphytischen Orchideen bilden sich die Lufrurzeln zu Wasserspeichern um; sie sind häufig von einer schwammigen Hülle (Velamen) umgeben, die sehr begierig und rasch Regenwasser oder Tau aufsaugt und den inneren lebenden Zellen zur Verfügung stellt.

Bei andern Epiphyten ist das Wurzelsystem nur unbedeutend entwickelt und dient hauptsächlich nur zur Befestigung am Substrat, würde aber die Funktion der Wasseraufnahme für die Pflanze nicht erfüllen können. Dann müssen andere Organe dafür eingerichtet sein, und das ist beispielsweise bei vielen epiphytischen Bromeliaceen mit den Blättern der Fall. Diese bilden hier, indem sie am Grunde rosettenförmig zusammenschließen, einen oft ziemlich tiefen Trichter, in welchem sich beträchtliche Wassermengen ansammeln können, bis zu 1 Liter und darüber. Bei Regenwetter füllen sich diese Wasserreservoir und geben von ihrem Inhalt durch die aufsaugenden Blätter selbst an die Pflanze ab. Aber nicht die ganze Blattfläche vermag das Wasser aufzunehmen, das geschieht anscheinend ausschließlich durch die sogenannten Schuppenhaare, flach schildförmige, kurz gestielte Organe, die mit den Zellen des Schildes Wasser und wässrige Lösungen aufsaugen und den Blättern zuleiten.

Neben dieser Anpassung der Epiphyten an die besonderen Wasserverhältnisse ihres Standortes, ist für ihre Entwicklung noch die Beschaffenheit des Samens von Bedeutung. Nur solche Pflanzen konnten überhaupt zu Epiphyten werden, die dazu geeignete Samen besitzen. Diese müssen zunächst auf Bäume oder Äste gelangen, an denen sie nicht abgleiten, sondern haften bleiben, ferner muß ihre

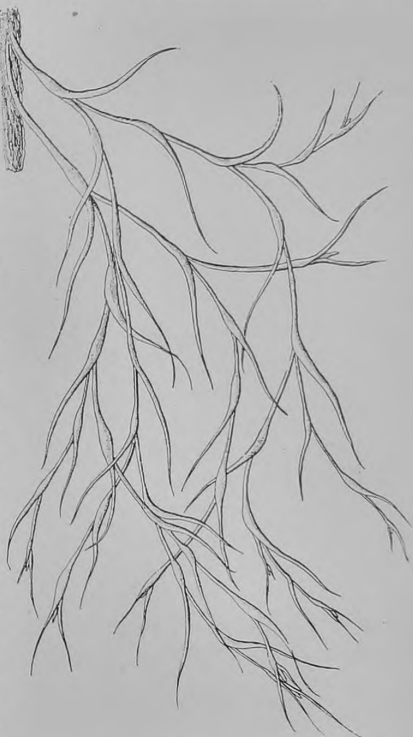


Fig. 126. *Tillandsia usneoides*, Rinden bewohnender Epiphyt

Keimung bei der zur Verfügung stehenden oft sehr beschränkten Wassermenge erfolgen können. Da bleibt nur ein geringer Bruchteil von Pflanzen übrig, deren Samen diesen Anforderungen entspricht, und die Annahme ist sehr berechtigt, daß

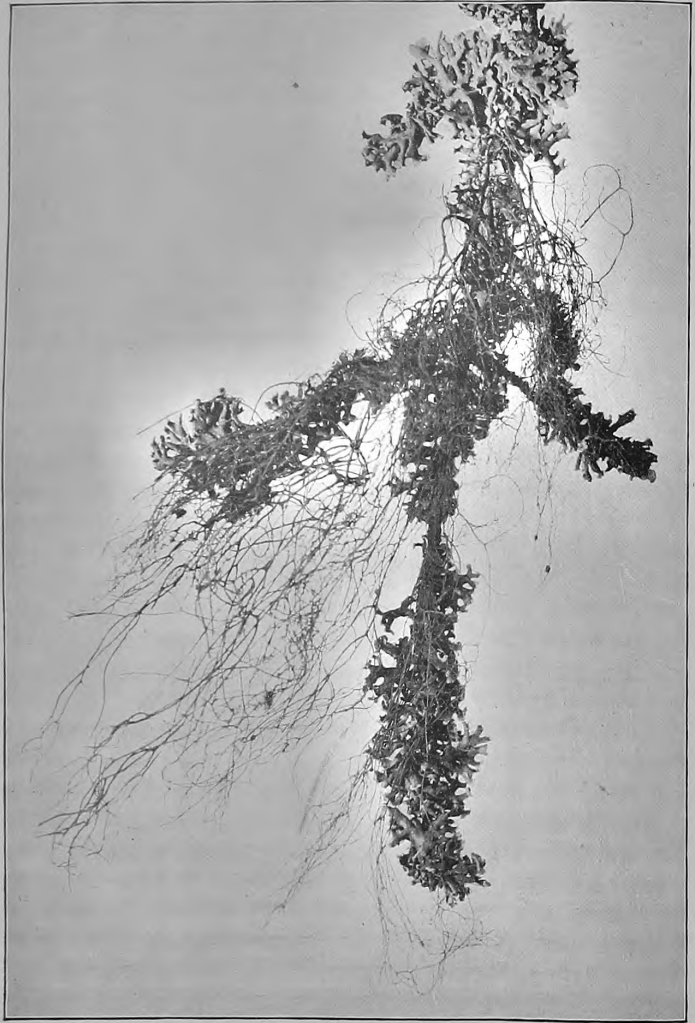


Fig. 127. Fichtenzweig mit epiphytischen Flechten

gerade die Beschaffenheit der Samen für die Entstehung der Epiphytenvegetation die Möglichkeit bot.

Die Verbreitung der Samen erfolgt entweder durch den Wind oder durch Tiere; im letzteren Falle handelt es sich fast ausnahmslos um Samen mit fleischigen

oder saftigen Hüllen, die von Vögeln und Affen verzehrt werden, und dann mit den Exkrementen, die ihnen zugleich eine gewisse Klebkraft verleihen, auf ihre natürlichen Standorte gelangen. Im ersteren Falle kann die Verbreitung teils durch die Kleinheit der Samen oder Sporen, teils durch besondere Flugapparate erleichtert werden, durch Kleinheit besonders bei den epiphytischen Orchideen und Farnen, durch Flugapparate bei vielen Gesneraceen und manchen epiphytischen Bromeliaceen. Unter letzteren ist *Tillandsia usneoides*, das vegetabilische Roßhaar, wie es auch genannt wird, eine der eigentümlichsten, wenn auch keine der schönsten epiphytischen Erscheinungen. Die Pflanze gleicht mit ihren herabhängenden stumpf graugrünen Sproßbüscheln ungefähr den Bartflechten unserer Gebirgswälder und überzieht oft mächtige Bäume derart dicht mit einer außerordentlichen Individuenzahl, daß die Wirtspflanze aus Mangel an Licht zugrunde geht.

Die weitaus meisten, fast die Hälfte aller Epiphyten unter den höheren Pflanzen liefert die Familie der Orchideen, gleichzeitig auch oft Arten, deren Blüten zu den schönsten und vielfach auch wohlriechendsten aller Pflanzen gehören; die Gattungen *Epidendrum*, *Cattleya*, *Stanhopea*, *Oncidium*, *Vanda*, *Vanilla* und andere sind auch in den Gewächshäusern unserer botanischen Gärten häufig in ihrer Blütenpracht zu bewundern, und sie erregen hier nicht selten um so mehr Aufmerksamkeit, als sich die ganze Pflanze nur an einem Stück Kork oder Borke befestigt und mit etwas Torfmoos umwunden zur Blüte entwickelt. Zahlreich sind auch noch die Epiphyten unter den Bromeliaceen, Gesneraceen, Rubiaceen und Farnen, während andere, wie Liliaceen und die sonst so artenreiche Familie des Compositen nur je einen Vertreter unter ihnen besitzen. Im ganzen kommen in ungefähr 35 Pflanzenfamilien Epiphyten vor, wenigstens soweit jetzt bekannt, doch dürfte ihre Zahl noch eine Steigerung erfahren; dabei ist von den Moosen und Thallophyten abgesehen, die ja auch in unseren Gegenden zahlreiche besonders Rinde bewohnende Arten besitzen, während phanerogame Epiphyten bei uns so gut wie ganz fehlen. In unsern Gebirgswäldern treten die Bartflechten als auffallendste Form epiphytischer Vegetation auf.

X. KAPITEL

Einfluß der chemischen und physikalischen Beschaffenheit des Bodens auf die Pflanzen

Der Erdboden ist das Produkt zahlreicher zersetzender und umwandelnder Prozesse, die lange Zeit auf das ursprünglich feste Gestein gewirkt und es schließlich in kleine und kleinste Partikelchen zerlegt haben. Es ist aber nicht bloß eine mechanische Zerkleinerung, sondern die Gesteine erfahren auch im Lauf der langen Zeiträume, in denen sich der Boden bildet, eine chemische Veränderung, die je nach den Bestandteilen der Gesteine eine sehr verschiedene sein kann.

Reine Kieselsäure, Quarze und Quarzite werden chemisch kaum verändert und

erleiden nur mechanische Zerkleinerung; die meisten Gesteine enthalten aber in größerer oder geringerer Menge chemische Verbindungen, die unter der Einwirkung des Wassers oder der in diesem gelösten Salze und Kohlensäure teils gelöst, teils chemisch verändert werden. So wird unter dem Einfluß des kohlensäurehaltigen Wassers der Kalkspat gelöst und ausgewaschen; unter der Einwirkung kalkhaltiger Wasser werden Alkalisilikate löslich und in wasserhaltige unlösliche Silikate umgewandelt, dabei aber die Alkaliverbindungen ausgewaschen. Die Gesamtheit dieser chemischen Zersetzungen im Boden nennt man seine Verwitterung.

Der Erdboden findet sich nun in verschiedenen Gegenden der Erde in sehr verschiedenen Stadien der Verwitterung, denn die Prozesse stehen niemals still, obwohl die Umwandlungen sehr langsam verlaufen. Aber die Gesteine, aus welchen die verschiedenen Bodenarten entstehen, enthalten nicht nur sehr ungleiche Mengen von verwitterbaren Stoffen, sondern auch die Einwirkungen auf diese Stoffe sind an verschiedenen Orten ganz ungleich und schließlich gibt es Verbindungen in den Gesteinen, die sehr rasch und andere, die sehr langsam zersetzt werden. Zu den Stoffen, die einer chemischen Zersetzung fast vollständig widerstehen, gehören außer Quarz auch die Tonerde und unter gewöhnlichen Verhältnissen auch das Eisenoxyd; das letztere wird allerdings leicht gelöst und ausgewaschen, wenn Torf- und Moorwässer mit ihrem großen Gehalt an freien Humussäuren zur Einwirkung gelangen. Sehr leicht verwittern dagegen Kalk, Dolomit, Gips. Zwischen diesen Extremen stehen die Mineralien, sich bald dem einen, bald dem andern Endgliede nähernd; von dem Gehalt eines Bodens an schwer verwitterbaren Mineralien hängt es aber ab, ob der Verwitterungsprozeß früher oder später seinem Endstadium entgegengeht.

Freilich gibt es kaum einen Boden, in dem überhaupt keine Umwandlungen mehr vor sich gehen; aber es gibt Böden, in denen doch alle Mineralien, die für die Pflanzen wertvolle Stoffe enthalten, durch die Verwitterung verschwunden und die nutzbaren Verbindungen selbst vom Regenwasser ausgelaugt und fortgewaschen sind, die also nicht mehr imstande sind, den Pflanzen die nötigen mineralischen Bestandteile zu liefern, sie sind erschöpft. Solche Böden sind teilweise der rote Laterit, der oft in großer Ausdehnung nur noch eine spärliche Flora zu ernähren vermag, während die klimatischen Bedingungen zu einer üppigen Vegetation geeignet wären. Der Laterit ist in einigen Gegenden Indiens, besonders aber Innerafrikas verbreitet. Es ist ein durch Eisenoxyd rot gefärbter, sehr harter Tonboden, mit mehr oder minder reichem Gehalt an Quarz. Diese drei Stoffe bleiben ja schließlich als Endprodukte der Verwitterung eines Bodens übrig, weil sie eben chemischen Einflüssen unter gewöhnlichen Verhältnissen unzugänglich sind.

Die Pflanze braucht bekanntlich zehn Elemente zum Aufbau ihres Körpers: Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Schwefel, Phosphor, Kalium, Kalzium, Magnesium, Eisen, von denen sie nur den Kohlenstoff aus der Kohlensäure der Luft, alle übrigen aus dem Erdboden mit dem Wasser aufnimmt. Welche Rolle das Wasser als Transportmittel spielt, wurde schon wiederholt be-

sprochen. Fehlt von den genannten Elementen auch nur ein einziges vollständig, so kann sich keine Pflanze entwickeln, obwohl von manchen, wie z. B. vom Eisen nur Spuren genügen. Dagegen besitzt die Pflanze die Fähigkeit, diese Stoffe noch aus so verdünnten Lösungen herauszuziehen und zu sammeln, daß sie chemisch in den Lösungen kaum mehr nachweisbar sind.

Besser gedeiht die Pflanze allerdings, wenn die Nährstoffe in einer bestimmten Konzentration vorhanden sind, die jedoch auch nicht über eine obere Grenze hinausgehen darf. Dabei verhalten sich die einzelnen Pflanzenarten wieder sehr verschieden, die einen stellen geringe, die andern große Ansprüche an den Nährstoffgehalt des Bodens, die einen vertragen von diesen letzteren eine große, die andern eine geringere Konzentration. Wird die Konzentration sehr stark, so können einzelne Pflanzen diese noch vertragen, für andere aber wirkt sie direkt als Gift. Freilich kommen nur von sehr wenigen Stoffen so konzentrierte Lösungen im Boden vor, schon deshalb, weil die meisten Bodenarten zum weitaus größten Teil aus unlöslichen oder nur sehr schwer und langsam löslichen Stoffen bestehen, und außerdem das oberflächlich ablaufende oder in die Tiefe versickernde Regenwasser fortwährend dem Boden lösliche Verbindungen entzieht. Würden nicht immer wieder durch die allmählich fortschreitende Verwitterung solche lösliche Salze aus den Bodenpartikeln frei, so wären dieselben überhaupt schon längst aus dem Boden ausgelaugt.

Einige Fälle gibt es aber doch, in denen der Boden gewisse chemische Verbindungen in einer so hohen Konzentration enthält, daß sie für manche Pflanzenarten schädlich werden. Das ist z. B. beim Kalkboden der Fall, in denen das ohnehin meist in geringer Menge vorhandene Bodenwasser nicht unbedeutende Quantitäten kohlensauren Kalk gelöst enthält. Pflanzen, die in bezug auf den Kalkgehalt des Bodens empfindlich sind, kommen deshalb auf Kalk nicht fort, während sich umgekehrt andere so an einen hohen Kalkgehalt gewöhnt haben, daß sie auf kalkarmem Boden kümmern. Aber nicht deshalb, weil ihnen der Boden etwa nicht mehr die geringen, zum Aufbau ihres Körpers nötigen Kalkmengen liefern könnte, sondern weil mit einem hohen Kalkgehalt des Bodens andere chemische Vorgänge verknüpft sind, als bei Kalkmangel, und sie von diesen chemischen Verhältnissen in gewissem Grade abhängig sind.

Man kann im allgemeinen nicht sagen, daß die auf Kalkboden vorkommenden Pflanzen ein besonderes Gepräge haben und sich äußerlich von den Kalk meidenden Pflanzen etwa so unterscheiden, daß man auf den ersten Blick ihre Angehörigkeit zur Kalkflora erkennen könnte. Auch gibt es viele Arten, die ebensogut auf Kalk als auf kalkarmem Boden gedeihen, ja eine Pflanzenart kann in der einen Gegend nur auf Kalk vorkommen, während sie in einer andern den Kalk geradezu meidet. Indessen kann man Gruppen unterscheiden, die für einzelne Bodenarten charakteristisch sind und an diesen festhalten. Solche an eine bestimmte Bodenart gebundene Arten bezeichnet man als *bodenstet*, andere, die zwar eine bestimmte Bodenart vorziehen, ohne aber andern Bodenarten ganz zu fehlen, nennt man *bodenhold*, schließlich alle nicht an bestimmte Bodenarten gebundene oder solche bevorzugende Arten, die also überall gleich gut fortkommen, *bodenvag*.

Dem Floristen sind in dem beschränkten Rahmen seiner Lokalfloren die Unterschiede zwischen der Vegetation auf Kalkboden und der auf Sand gewöhnlich sehr auffällig, und er kann ganz genau seine kalksteten, kalkholden und seine kieselsteten Arten, wie man die kalkfliehenden nennt, unterscheiden. Zieht man aber das Gesamtgebiet solcher Pflanzen in Betracht, so schrumpft die Zahl der kalksteten oder kieselsteten Arten auf ein Minimum zusammen, und man kommt immer mehr zu der Überzeugung, daß es sich bei den meisten Arten nur um lokale Anpassungen handelt, die in andern Gegenden verschwinden oder sich sogar in Anpassungen nach der entgegengesetzten Richtung verwandeln können.

Als besonders kalkliebende Pflanzen können in unseren Gegenden angesehen werden: viele Rosaceen (die wilden Rosen selbst), ferner viele Leguminosen, wie

Anthyllis vulneraria, viele *Trifolium*-arten, sehr viele Orchideen, so *Cephalanthera rubra*, *pallens*, *Ophrys muscifera*, *Cypripedium calceolus*, *Epipactis rubiginosa*, auch viele Labiaten, wie *Lycopus europaeus*, *Prunella grandiflora*, dann der Efeu, der Huflattich. Gern wachsen auf Kalkboden auch verschiedene Sorbusarten (*S. aria*, *torminalis*, *Aucuparia*); die Buche gedeiht auf Kalk besser und zeigt einen glatteren, mehr weißen Stamm, als auf Sandboden.



Fig. 128. Zweig von *Salicornia herbacea*

Zu den Pflanzen, die Kalk meiden, gehören hauptsächlich die Heidepflanzen *Calluna vulgaris*, *Erica tetralix*, die *Vaccinium*-arten, Besenginster, Adlerfarn, die meisten Cyperaceen und viele Gramineen, alle Torfmoose; auch der Edelkastanie sagt man Kalkfeindlichkeit nach. Daß nicht immer ein großer Kalkgehalt die ausschließliche Ursache ist, weshalb man diese Pflanzen nicht auf Kalk findet, wurde durch Kultur derselben auf reinem Kalk nachgewiesen. Indessen ist es doch mit Sicherheit anzunehmen, daß ein hoher Kalkgehalt des Bodens wenigstens in Verbindung mit seinen damit in Beziehung stehenden anderen Eigenschaften, den Kieselpflanzen schädlich ist, daß sie ihn wenigstens nicht so gut vertragen, als die kalkliebenden und deshalb von den letzteren verdrängt werden.

Wesentlich deutlicher tritt eine Verschiedenheit hervor, wenn der Boden stark kochsalzhaltig wird; hier treten nach und nach die gewöhnlichen Landpflanzen zurück, und es findet sich eine Vegetation ein, die meist auch äußerlich ein abweichendes Gepräge trägt, die Salzpflanzen oder Halophyten. Der Meeresstrand, die Salzsteppen und die Ränder salziger Binnengewässer sind ihre Heimat, wo der Boden ja stets mehr oder weniger kochsalzhaltig ist. Sie zeichnen sich fast alle durch eine ausgesprochene xerophile Struktur aus, und in der Tat haben auch alle auf kochsalzhaltigem Boden wachsende Pflanzen mit Schwierigkeiten in bezug auf die Wasserversorgung zu kämpfen, selbst wenn der Boden reichlich Feuchtigkeit enthält. Denn das Kochsalz erschwert, wie alle stark osmotisch wirkenden Salze, die Wasseraufnahme, und deshalb stellen sich bei den Wasserpflanzen alle jene Einrichtungen ein, welche Pflanzen besitzen, die mit

dem Wasserverbrauch vorsichtig sein müssen. Fast allen Halophyten kommen kleine, meist fleischige Blätter zu, die oft noch starke Behaarung oder besondere Verdickung der Außenseite der Epidermiswände besitzen; auch die Spaltöffnungen sind geschützt.

Die schädliche Wirkung, die ein hoher Kochsalzgehalt im Boden für die meisten Pflanzen besitzt, hängt aber nicht bloß von der Erschwerung der Wasseraufnahme ab, sondern offenbar auch von einer ungünstigen chemischen Beeinflussung der Lebensprozesse in den Zellen. Denn die meisten Pflanzen sterben auch ab, wenn man den Boden mit einer 2 bis 3 prozentigen Kochsalzlösung begießt, aber die Pflanzen vor zu starker Verdunstung schützt. Manche Arten, die in unserer Flora vorkommen, besonders fast alle Chenopodiaceen, vertragen den Kochsalzgehalt sehr gut, und manche Arten zeigen entschieden ein Bedürfnis für Kochsalz, denn sie nehmen es auch aus einem kochsalzarmen Boden in weit größeren Mengen auf als andere Arten. Eine absolute Notwendigkeit ist Chlornatrium aber auch für die typischen Salzpflanzen, wie *Salicornia* oder *Salsola* nicht, denn sie lassen sich auch in chlornatriumfreien Böden ziehen. Dagegen hat ihre Fähigkeit, relativ große Mengen Kochsalz zu vertragen, ihnen ein Gebiet erobert, auf welchem ein beträchtlicher Teil der Pflanzen von der Mitbewerbung um den Raum durch ihre Salzempfindlichkeit von vornherein ausgeschlossen ist.

Es gibt Pflanzen, die durchaus keine ausgesprochenen Halophyten sind, wenn sie auch größere Mengen Kochsalz vertragen, die aber doch in ihrem natürlichen Vorkommen fast ausschließlich auf die Meeresküste beschränkt bleiben. Dahin gehört beispielsweise die Kokospalme. Sie kommt fast überall nur in der Nähe des Meeresstrandes vor, wozu allerdings ihre Verbreitung durch die Strömungen des Meeres hauptsächlich beitragen mag. Indessen müßten doch auch gelegentlich Kokosnüsse weiter nach dem Innern des Landes zu gelangen, und wenn auch langsam — in Jahrhunderten oder Jahrtausenden — müßte die Palme doch von der unmittelbaren Küste weiter nach innenzu wandern. Das ist aber nicht der Fall; wo weiter von der Küste entfernt Kokospalmen vorkommen, kann man fast regelmäßig den Nachweis erbringen, daß es Kulturanlagen sind. Vielleicht liegt diese eigentümliche Erscheinung darin begründet, daß die Kokospalme in dem salzigen Boden des Meeresstrandes weniger unter der Konkurrenz von anderen Pflanzen zu leiden hat, denen sie im Binnenlande nicht ohne Hilfe des Menschen siegreich begegnen kann.

Andere Salze, als das Kochsalz oder Chlornatrium, kommen nur an vereinzelten Stellen in solcher Konzentration vor, daß dadurch der Charakter der Flora verändert wird. Alaun kommt in sumpfigen Gegenden in Java und Japan, Borax in einigen Gegenden Ostasiens, ebenfalls in Sümpfen oder als Auswitterung beim Eintrocknen des Bodens vor. Die Wirkungen sind im allgemeinen die gleichen, bei stärkerer Konzentration nehmen die Pflanzen den Charakter von Xerophyten an. Auch Salpeter wirkt da, wo er in großen Mengen im Boden vorkommt, in ganz gleichem Sinne, z. B. in den salpeterreichen Gegenden Südamerikas, wo allerdings gleichzeitig auch ein meist sehr trockenes Klima vorhanden ist. In geringeren Mengen wirkt Salpeter nicht so stark auf Pflanzen ein als das Kochsalz; wohl

aber gibt es viele Arten, die nur auf salpeterreichem Boden zu üppiger Entwicklung kommen. Man nennt sie Ruderalpflanzen und findet sie überall da am besten gedeihend, wo Abfälle des menschlichen Haushaltes sich ansammeln, auf Komposthaufen, stark gedüngter Gartenerde, in der Umgebung von Düngstätten usw. Von unseren allbekannten Arten gehört besonders die Brennessel hierher, die ja freilich auch anderwärts vorkommt, aber sich nirgends so wohlfühlt, als in der Umgebung verwahrloster Schweineställe und ähnlicher Örtlichkeiten. Ebenso

gehören auch die Chenopodiaceen, viele Crucifereen und Solanaceen, auch der schwarze Hollunder hierher.

Noch einige andere seltene mineralische Bestandteile des Bodens wirken in eigentümlicher Weise verändernd auf einzelne Pflanzenarten ein, ohne daß man sagen könnte, wie die Beziehung zwischen den Veränderungen und der abweichenden Bodenbeschaffenheit aufzufassen ist. So trägt z. B. der in einigen Gegenden Deutschlands vorkommende Serpentin, z. B. in der Umgebung des Zobtenberges in Schlesien zwei auffallend abweichende Lokalformen von Farnen, die lange Zeit als besondere Arten, die eine sogar als ein Bastard zwischen zwei gut unterschiedenen Arten gegolten haben. Diese letztere ist *Asplenium adulterinum*, die Serpentinform von *Asplenium viride*, in ihrem Aussehen zwischen *A. viride* und *Trichomanes* stehend. Bei *A. Trichomanes* ist die Spindel an der die Blättchen stehen bis oben hinauf schwarz, bei *A. viride*, nur ganz am Grunde, sonst grün, bei *A. adulterinum* ist sie bis etwa zur Mitte schwarz, darüber grün; auch stehen die Blättchen der letzteren Form mit ihrer Spreite fast im rechtem Winkel zu der Spindel, während bei den beiden ersteren sich die Spreite ungefähr in die Längsrichtung der Spindel einstellt. Noch heute halten allerdings viele Farnkenner daran fest, daß *A. adulterinum* eine eigene gute Art sei, doch gelang

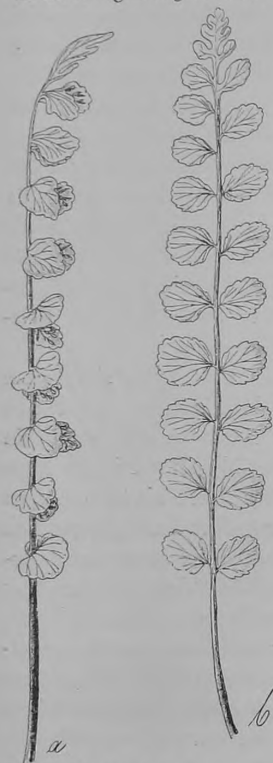


Fig. 129. Wedel von a *Asplenium adulterinum*, b *Asplenium viride*

es Sadebeck nach längerer Kultur in der sechsten Generation eine Rückkehr des *A. adulterinum* zur Stammform *A. viride* zu erzielen, wenn er sie auf serpentinfreiem Boden züchtete. In der Natur kommt *A. adulterinum* nur auf Serpentin vor, zuweilen in Begleitung von *A. Trichomanes*, nur an zwei Stellen auch mit *A. viride*, und an diesen Stellen zeigt es noch eine auffallende Hinneigung zu dieser letzteren Art. Ein Zusammenhang zwischen beiden Formen ist nach den Sadebeckschen Versuchen nicht mehr zu bezweifeln, wenn es auch noch nicht gelang, durch fortgesetzte Kultur des *A. viride* auf Serpentin ein *A. adulterinum* zu züchten.

Bei *A. serpentinum* ist die Abweichung gegenüber *A. Adiantum nigrum* weniger

auffallend; die Segmente letzter Ordnung sind bei dem ersteren am Grunde keilförmig, bei dem letzteren mehr eiförmig bis länglich. Der größte Unterschied liegt darin, daß die Blätter von *Adiantum nigrum* derb, glänzend und überwinternd, bei *Serpentini* dünn, krautig, glanzlos, nicht überwinternd sind; Zwischenformen kommen aber vor. *A. Serpentinum* kommt ausschließlich auf Serpentin vor, wo es die Stammform vertritt.

Ebenso wie Serpentin übt auch Galmei auf einige wenige Pflanzenarten eine verändernde Wirkung aus, besonders auf *Viola lutea*, von der eine var. *calaminaria*, und *Thlaspi alpestre*, von der es ebenfalls eine var. *calaminaria* gibt, die früher als besondere Arten (*Viola calaminaria* und *Thlaspi calaminarium*) betrachtet wurden. Das gelbblühende Veilchen zeigt auf zinkhaltigem Boden eine auffallende Verlängerung des Stengels, reichere Verzweigung und kleinere Blüten; bei *Thlaspi* tritt umgekehrt eine Vergrößerung der Blumenkronen ein.

Eine außerordentliche Bedeutung nicht nur für die chemischen sondern auch für die physikalischen Eigenschaften des Bodens haben auch die organischen, in Zersetzung begriffenen Stoffe desselben, die man unter dem Namen Humus zusammenfaßt. Allerdings sind wir gerade in bezug auf die Chemie der Humusstoffe noch sehr wenig orientiert, aber es sind offenbar sehr verschiedenartige Körper, die zum größeren Teil einen indifferenten zum kleineren einen ausgesprochen sauren Charakter tragen. Die ersteren sind mehr braun gefärbt, quellen in Kalilauge auf, sind aber unlöslich in ihr; sie werden als Huminstoffe bezeichnet, während die letzteren ihres sauren Charakters wegen Huminsäuren heißen. Diese lösen sich in Kalilauge und bilden mit Basen teils lösliche, teils unlösliche Salze. Beide Gruppen von Stoffen entstehen aus der Zersetzung tierischer oder pflanzlicher Stoffe und enthalten deshalb auch zunächst dieselben Elemente, die in Tieren und Pflanzen vorkommen, darunter einige der wichtigsten, besonders Stickstoff in gebundener Form. Doch sind diese wichtigen Stoffe im Humus in einer für die grünen Pflanzen nicht verwertbaren Form enthalten, sie müssen erst durch die zersetzende Tätigkeit von Pilzen und Bakterien in einfache chemische Verbindungen zerlegt werden.

Die Art und Weise, wie sich die Zersetzung der Humusstoffe im Boden durch die niederen Organismen vollzieht, ist aber durchaus nicht immer die gleiche, und ebenso sind auch die dabei entstehenden Produkte verschieden. Unter Umständen kommt es zu einer beträchtlichen Anhäufung von organischen Resten, wenn die Zersetzung aus irgendwelchen Ursachen nicht normal verläuft, und man spricht dann von Rohhumusbildung. Solcher Rohhumus ist im Gegensatz zu dem in normaler Zersetzung begriffenen Humus durchaus ungünstig für die weitaus größere Zahl der Pflanzen, weil dabei nicht nur die wichtigsten Stoffe in unzugänglicher Form gebunden bleiben, sondern weil meist auch in überwiegender Menge die sauren Verbindungen, Huminsäuren, entstehen, die sowohl auf die Pflanzen als auch auf den Boden einen ungünstigen Einfluß ausüben.

Das Zustandekommen der Rohhumusbildung ist von sehr verschiedenen Bedingungen abhängig, am meisten von Sauerstoffmangel, wie er z. B. beim Abschluß der organischen Substanzen durch stagnierendes Wasser vorhanden ist. In diesem

Falle kommt es zur Torfbildung, einem Prozeß, bei welchem die zersetzende Tätigkeit der Bakterien fehlt und zumeist eine rein chemische Abspaltung von Wasser aus den organischen Verbindungen stattfindet. Dabei werden die organischen Stoffe immer dunkler und kohlenstoffreicher, zugleich aber auch immer reicher an Huminsäure. Ebenso kann eine Zersetzung der organischen Stoffe bei zu großer Trockenheit nur in unvollkommenem Maße stattfinden, da die Erreger der normalen Zersetzung, Bakterien und Pilze, zu ihrer Lebenstätigkeit eine beträchtliche Menge Feuchtigkeit brauchen. Auf trockenen Sandböden können daher wohl die tiefwurzelnden Bäume gedeihen, die das ihnen nötige Wasser aus den feuchteren Schichten beziehen können, nicht aber die in den oberen rasch austrocknenden Schichten lebenden niederen Organismen. Dazu kommt, daß nur dann eine normale Zersetzung des Humus stattfindet, wenn dieser genügend mit den mineralischen Bestandteilen des Bodens gemischt wird. Bei der Zersetzung der organischen Stoffe durch Mikroorganismen entstehen nämlich immer Säuren, besonders Huminsäuren, welche der Tätigkeit der Bakterien bei einer gewissen Grenze der Konzentration Stillstand gebieten. Werden aber die Huminsäuren mit den mineralischen Bestandteilen des Bodens durchmischt, so werden sie teilweise durch die in letzterem enthaltenen alkalischen Verbindungen in Salze übergeführt, die selbst wieder gute Nährstoffe für Bakterien sind. Bei der Zersetzung der huminsäuren Salze wird nun die Huminsäure in einfachere, nicht mehr sauer reagierende Stoffe zerlegt, die Basen aber werden wieder frei und können etwa neu entstandene Mengen Huminsäure binden. Es kommt also in einem solchem Falle gar nicht zur Bildung beträchtlicher Mengen von Huminsäuren, so daß die Tätigkeit der Bakterien und damit die normale Humuszersetzung gar keine Unterbrechung erleidet.

Kommt es aber nicht zu einer Untermischung des Humus mit den mineralischen Bestandteilen, so findet auch keine Bindung der Huminsäuren statt, die Tätigkeit der Bakterien wird verzögert, und wenn auch die Huminsäuren löslich sind und durch einsickerndes Regenwasser in die Tiefe gezogen werden, bleibt in den oberen Schichten die Reaktion so sauer, daß die Zersetzung sehr langsam vor sich geht. Durch Laub- und Nadelfall häuft sich aber fortwährend weiterer Humus an, so daß schließlich mächtige Schichten unzersetzter organischer Stoffe übereinander liegen. Man kann z. B. in einem Buchenwalde sehr genau die Stellen erkennen, an denen Rohhumusbildung auftritt; hier bilden die Blätter am Boden dicht verfilzte Massen, die sich mit dem Stock in flachen Schichten, Fladen, abheben lassen. Wo normale Zersetzung vorhanden ist, sind die Blätter krümelig zerfallen und nicht schichtenweise abhebbar.

Ist also die Rohhumusbildung wesentlich von einer Vermischung der organischen Reste mit den mineralischen Bestandteilen abhängig, so wird sie natürlich dort zuerst auftreten, wo die Bedingungen für eine solche Vermischung am ungünstigsten liegen, und das ist auf trockenem Sandboden der Fall. Die Untermischung besorgen nämlich in einem sehr hohem Grade die Regenwürmer, welche während der Nacht und in den frühen Morgenstunden aus der Erde hervorkommen und beträchtliche Mengen des abgestorbenen Laubes in ihre Löcher hineinziehen, um es zu verzehren. An Stellen, wo Regenwürmer in großen Mengen

vorkommen, werden deshalb die abgefallenen Laubmassen sehr bald von der Oberfläche verschwinden und in den Boden geschafft werden, wo sie von den Regenwürmern mit Erde aufgenommen und mit dieser im Darmkanal gründlich durchmischt und zerkleinert werden. An trockenen Stellen fehlen aber die Regenwürmer und damit auch ihre für den Haushalt der Natur so wichtige Tätigkeit. Ähnlich werden die Verhältnisse liegen, wo der Boden von vornherein sehr arm an löslichen anorganischen Verbindungen ist; hier kann trotz ausreichender Vermischung von organischen und anorganischen Stoffen, die übrigens auf solchen Böden auch gewöhnlich fehlt, eine Bindung der Huminsäure nicht eintreten, weil genügende Mengen basischer Stoffe fehlen. Schließlich kann auch noch dauernd niedrige Temperatur zur Rohhumusbildung beitragen, wie dies in den arktischen Tundren der Fall ist, weil die Zersetzungsprozesse hier infolge mangelnder Wärme zu langsam vor sich gehen.

Die Rohhumusbildung wirkt nun in zweierlei Weise schädigend auf die Pflanzenwelt, einmal durch Bildung der Huminsäuren, deren schädliche Eigenschaften noch näher zu beleuchten sind, zweitens dadurch, daß eine Menge der wichtigsten Stoffe dem Boden nicht wieder in einer für die Pflanzen verwertbaren Form zurückgegeben, sondern in unzugänglichen Verbindungen aufgespeichert werden. Die ungünstige Wirkung der Huminsäuren erstreckt sich aber wieder auf die Pflanzen selbst und auf die Verschlechterung des Bodens, die sie hervorbringen. Die Humussäuren erschweren die Aufnahme des Wassers durch die Wurzeln und deshalb können auf sehr saurem Boden nur Pflanzen mit ausgesprochen xerophiler Struktur gedeihen; sie üben aber auf die Wurzeln vieler Pflanzen überhaupt eine giftige Wirkung aus, wie die meisten Säuren.

Die ungünstigen Veränderungen, die die Humussäuren im Boden selbst hervorrufen, beruhen hauptsächlich auf der raschen Verwitterung und Auslaugung des Bodens und auf ihrer Teilnahme an der Ortsteinbildung. Größere Mengen von Humussäuren sind insofern, viele für die Pflanzen wichtige Mineralien sehr schnell zu zersetzen, so besonders Kalisilikate, kalkhaltige Mineralien, selbst die sonst der Verwitterung widerstehenden Eisenoxyde. Saure Böden vermögen aber die löslichen Salze nicht festzuhalten, da sie eine sehr geringe Absorptionsfähigkeit besitzen, die Salze werden also durch Regen rasch ausgewaschen und gehen dem Boden verloren. Beschleunigte Verwitterung, rasche Auswaschung und schließlich völlige Erschöpfung des Bodens sind also die Folge großer Huminsäurebildung.

Die Entstehung des Ortsteins ist in ihren Einzelheiten noch nicht hinreichend aufgeklärt, doch kann man annehmen, daß sie im großen und ganzen etwa in folgender Weise zustande kommt. Die Huminsäuren vermögen Eisenoxyd aus dem Boden aufzunehmen und sich mit ihm zu löslichem huminsaurem Eisen zu verbinden. Dieses sinkt mit dem eindringenden Regenwasser in dem ausgelaugten Boden in die Tiefe, bis es auf eine noch salzhaltige Schicht stößt; dann treten die Salze in Verbindung mit der Huminsäure, das Eisen wird aber wieder in Form von sehr fein verteiltem Oxyd ausgefällt und bildet mit Teilen ausgefällter Huminstoffe eine mehr oder minder dicke Schicht in einer bestimmten

Tiefe, indem es sich zwischen die einzelnen Bodenpartikelchen eindringt und diese zu einer festen, für Wasser, aber auch für die Pflanzenwurzeln schwer durchdringlichen Masse verkittet. Da sich diese Masse in einer zusammenhängenden Schicht von wechselnder Dicke über große Flächen ausbreitet, so werden natürlich die normalen Verhältnisse im Boden wesentlich gestört, die über dem Ortstein lagernde Schicht ist vollständig von der darunterliegenden abgeschlossen. Ein Aufsteigen von salzhaltigem Grundwasser infolge von Kapillarität unterbleibt, ebenso wie eine normale Entwässerung des Bodens durch Versickern des überschüssigen Regenwassers verhindert wird. Neigung zur Versumpfung ist dann an ebenen Stellen eine gewöhnliche Folge der Ortsteinbildung.

Aber besonders schädlich wird der Ortstein, auch in gebirgigen Lagen, dadurch, daß er ein tieferes Eindringen der Pflanzenwurzeln erschwert. Die Pflanzen müssen sich mit dem ohnehin ausgelaugten Boden oberhalb der Ortsteinschicht begnügen, und dadurch wird natürlich ihre Entwicklung wesentlich gehemmt. Man schiebt beispielsweise der beginnenden Ortssteinbildung im Schwarzwalde die Schuld zu, daß an manchen Orten die natürliche Verjüngung der Tanne nicht mehr gut gelingen will, weil ihre tiefergehenden Wurzeln die Ortsteinschicht nicht mehr durchdringen können, während die Fichte, die sich allmählich an solchen Stellen ansiedelt und die Tanne verdrängt, bei ihren flachstreichenden Wurzeln weniger von der Ortsteinbildung zu leiden hat.

Es ist begreiflich, daß bei so tiefgreifenden Unterschieden, wie sie normale und anormale Zersetzung der Humusstoffe in der Beschaffenheit des Bodens und in ihrer direkten Wirkung auf die Pflanzenwelt mit sich bringen, auch die Zusammensetzung der Flora je nach den Verhältnissen eine sehr verschiedene sein wird. Nicht bloß der Gehalt an Humussäuren selbst, sondern auch der Mangel oder die Reichhaltigkeit an Nährsalzen spielen dabei eine Hauptrolle. Saure Böden sind auch stets arm an Nährsalzen und vermögen nur bestimmte Pflanzen zu ernähren, denen eine größere Konzentration von löslichen anorganischen Stoffen oft direkt unzuträglich ist. Dahin gehören beispielsweise viele der kieselsteten Pflanzen, die gleichzeitig auch kalkfeindlich sind, nicht deshalb, weil sie keinen Kalk vertragen, sondern weil sie überhaupt keine größere Menge gelöster anorganischer Stoffe lieben. Je extremer sich die Pflanzen nach dieser Richtung entwickeln, desto ausgesprochener tragen sie zugleich den Charakter als Hochmoorpflanzen. Die Heide und das Torfmoos sind ihre besonders typischen Vertreter. Beide kommen nur auf einem nährsalzarmen Boden fort, es braucht sich dabei durchaus nicht immer um Moore in dem Sinne zu handeln, wie sie der Laie gewöhnlich auffaßt. Das Torfmoos beansprucht allerdings eine größere Feuchtigkeit und kommt selbst schwimmend in Wassertümpeln der Hochmoore vor. Die Heide aber liebt mehr trockene Standorte, und Heidemoore sind oft recht trocken.

Auch viele andere Pflanzen schließen sich diesen beiden an: das Wollgras (*Eriophorum*) in verschiedenen Arten, viele Arten der Gattung *Vaccinium*, *Andromeda polifolia*, *Arctostaphylos Uva ursi*, unter den Moosen noch *Polytrichum*. Überall, wo diese Pflanzen gut gedeihen, liegt ein nährstoffarmer Boden vor,

und wo z. B. das letztgenannte Moos in einem Walde reichlich auftritt, kann man mit Sicherheit auf Rohhumusbildung schließen.

Einen nicht minder großen Einfluß auf die Vegetation haben die verschiedenen physikalischen Eigenschaften des Bodens, sie stehen sogar häufig an Bedeutung voran. Schon der Grad der Zerkleinerung der einzelnen den Boden zusammensetzenden Partikelchen, ihre dichtere oder lockerere Lage spielen eine wichtige Rolle, da hiervon zu einem großen Teil das Verhalten des Bodens gegenüber Wasser und Gasen sowie gegenüber der Aufnahme und Abgabe von Wärme, dem Festhalten von Nährsalzen usw. abhängig ist.

Im allgemeinen werden die kleinsten Partikelchen, die den Boden zusammensetzen, eine immer noch sehr ungleiche Größe haben; die größeren bilden Hohlräume, in welchen wieder kleinere liegen. Auch die Zwischenräume zwischen den einzelnen Bodenkörnchen werden ungleich groß sein, um so größer, je größer die Körnchen selbst sind. Da nun in den Zwischenräumen sich Wasser und Luft bewegen, so ist es klar, daß die Größe der Zwischenräume eine beträchtliche Rolle spielt. Sind sie sehr groß, so verlieren sie den Charakter der Kapillaren und vermögen Wasser nur unvollkommen festzuhalten; steiniger Boden ist deshalb fast stets auch sehr trocken, trotzdem in den Zwischenräumen genügend Wasser Platz hätte. Sind dagegen die Zwischenräume sehr klein, so wird das einmal aufgenommene Wasser infolge der sehr starken Kapillarwirkung außerordentlich zäh festgehalten, aber die Bewegung von Gasen und Wasser ist sehr verlangsamt, und damit hängt wieder die schwere und langsame Erwärmung und die ungenügende Zirkulation der Bodenluft zusammen. In extremer Form zeigt schwerer Tonboden diese Eigenschaften; die Tonpartikelchen sind so klein, daß sie selbst mit den stärksten Vergrößerungen kaum erkennbar sind, sie lagern sich also auch sehr dicht zusammen, und die Zwischenräume werden ebenfalls sehr eng werden.

Sehr selten kommen Bodenarten vor, in denen die einzelnen Körnchen annähernd gleich groß sind, z. B. bei manchen Sandböden, auch bei einzelnen Tonböden; in diesem Falle neigen sie auch oft dazu, sich ziemlich regelmäßig zu lagern, d. h. in gleichen Abständen voneinander, ein Zustand des Bodens, den man als Einzelkornstruktur bezeichnet. Weit häufiger zeigt der Boden ungleiche Korngröße, und dann tritt unter normalen Verhältnissen auch eine unregelmäßige Lagerung der Körnchen auf; eine Anzahl derselben schließen zu kleinen Krümeln oder Bröckchen dicht zusammen, und diese sind wieder durch weitere Zwischenräume getrennt. Diese Beschaffenheit des Bodens wird als Krümelstruktur bezeichnet; sie ist im allgemeinen gutem Boden eigen, kann aber unter besonderen Verhältnissen zeitweise verloren gehen. Es gibt Bodenarten, denen sie sehr leicht verloren geht, z. B. schwerer Tonboden, andere, die sie überhaupt kaum jemals zeigen, wie Flugsand.

Die Krümelstruktur hat aber für die Pflanzen eine hohe Bedeutung; die großen Zwischenräumen ermöglichen eine rasche Zirkulation der Bodengase, Zufuhr von frischem Sauerstoff zu den atmenden Wurzeln, Fortschaffung der im Übermaß angehäuften Kohlensäure, ferner ein rasches Absinken überflüssiger Wassermengen, schließlich ein leichteres Eindringen der jungen Wurzeln. Die engen

Kapillaren innerhalb der einzelnen Krümel bewirken aber wieder ein zäheres Festhalten des aufgenommenen Wassers, so daß ein krümeliger Boden in bezug auf den Wassergehalt viel gleichmäßiger sich zeigt als ein Boden mit Einzelkornstruktur; ein Zuviel an Wasser läßt er leichter durchsickern, während er bei trockenem Wetter in seinen Kapillaren immer noch beträchtliche Mengen Wasser für die Wurzeln der Pflanzen zur Verfügung hält. Auch die Oberfläche ist auf einem gekrümelten Boden rauher, und dies wirkt insofern günstig, als bei geringer Menge der Niederschläge diese nicht so rasch abfließen können, sondern zwischen den Unebenheiten festgehalten werden und einsickern.

Die Krümelstruktur des Bodens wird wieder bedingt durch den Grad der Bindigkeit, d. h. der größeren oder geringeren Neigung der einzelnen Bodenteilchen zum Aneinanderhaften; sowohl bei zu großer Bindigkeit (Tonboden) als bei zu geringer (Sandboden) ist die Krümelstruktur entweder schwer zu erhalten oder fehlt überhaupt völlig.

Zu den physikalischen Eigenschaften des Bodens, die für die Pflanze von Wichtigkeit sind, gehört auch seine Absorptionskraft für Gase und gelöste Stoffe. Bodenabsorption bedeutet das Festhalten solcher Stoffe im Boden. Je größer diese Fähigkeit eines Bodens ist, in desto höherem Maße vermag er den an ihn von seiten der Pflanzen gestellten Anforderungen zu entsprechen, desto fruchtbarer ist er. Die Bodenabsorption ist wieder abhängig von sehr verschiedenen im Boden enthaltenen Stoffen, hauptsächlich von den sogenannten kolloidalen Körpern, das sind amorphe, also nicht kristallisierte Substanzen, die bei Wasserzufuhr stark aufquellen und Wasser, damit zugleich aber die gelösten Bodensalze aufnehmen. In vielen Fällen sind sie auch gleichzeitig leicht zersetzbar und binden die aufgenommenen Salze chemisch, aber so locker, daß sie wohl vom Regenwasser nicht ohne weiteres gelöst und fortgeschwemmt werden können, für die Pflanzenwurzeln aber verwertbar bleiben. Dahin gehören wasserhaltige Silikate, amorphe, kolloidale Kieselsäure, besonders aber kolloidale Tonerde und Humusstoffe, auch Eisenoxyd, zumeist Körper, die chemisch noch wenig bekannt sind, weshalb auch gerade hier noch mancherlei Fragen der Lösung harren. Besonders sind es anscheinend gerade die kleinsten, unter dem Mikroskop kaum erkennbaren Teilchen (Argyllite), welche die größte Absorptionsfähigkeit besitzen. Fehlen diese Körper, so ist, wie in reinem Sandboden, die Bodenabsorption gering, und die Böden sind arm an Nährsalzen. Auch wenn man einem Boden von geringer Absorptionskraft die notwendigsten Salze zuführt, vermag er sie nicht festzuhalten, sondern verliert sie infolge von Auswaschung durch Regenwasser wieder sehr bald.

Allgemein fehlt sauren Böden die Absorptionskraft für Salze in hohem Grade. Wo daher Humussäuren vorhanden sind, ist der Boden gewöhnlich ausgelaugt und vermag nur Pflanzen zu tragen, die in ihren Ansprüchen an den Nährstoffgehalt des Bodens sehr bescheiden sind. Übrigens verhalten sich die einzelnen für die Pflanzen in Betracht kommenden anorganischen Verbindungen des Bodens ebenfalls sehr verschieden in bezug auf ihre Absorbierbarkeit. Fast alle Salze der Salz- und Salpetersäure, also auch der so überaus wichtige Salpeter, werden nur in äußerst geringem Grade absorbiert und aus

den meisten Böden durch das Regenwasser leicht ausgewaschen. Deshalb findet man in Quellen, die ihre Zuflüsse aus Ackerböden oder aus dem Industriegebiet großer Städte beziehen, gewöhnlich auffallend großen Mengen Chlor und Salpetersäure, während diese Verbindungen Waldquellen fast vollständig fehlen. Leichter festgehalten werden die Salze der Schwefelsäure, am besten die der Phosphorsäure, die nur unter der Einwirkung der Humussäuren aus dem Boden ausgewaschen werden können. Dabei spielt die Löslichkeit der Salze eine hervorragende Rolle, je löslicher ein Salz ist, desto leichter wird es ausgewaschen.

Aber die Leicht- oder Schwerlöslichkeit ist nicht allein ausschlaggebend. So werden vielfach die an sich viel leichter löslichen Kaliverbindungen festgehalten, während die schwerer löslichen Kalzium- und Magnesiumverbindungen ausgewaschen werden. Ebenso zeigen sich die einzelnen Bodenarten überaus verschieden in bezug auf Bodenabsorption. Je humusreicher ein nicht saurer Boden ist, desto vollständiger vermag er die Salze festzuhalten, und das ist eine der wertvollsten Eigenschaften des Humus. Auch Tonböden werden schwer ausgewaschen und besitzen große Absorptionskraft, wogegen magere Sandböden sehr wenig, die saueren Heideböden fast gar keine Absorptionskraft besitzen. Auf solchen Böden würden auch selbst den genügsamsten Pflanzen bald alle Nährstoffe fehlen, wenn nicht infolge der sehr langsam vor sich gehenden Verwitterung aller mineralischen Bestandteile fortwährend geringe Mengen von Salzen, die für die Pflanzen von Wert sind, frei würden.

Die größte Bedeutung besitzt das ganz ungleiche Verhalten verschiedener Bodenarten gegenüber dem Wasser. Es gibt zunächst Bodenarten, die das Wasser der Niederschläge überaus leicht durchlassen — durchlässige — und solche, die es nur sehr schwer oder gar nicht durchlassen — undurchlässige Böden. Die ersteren vermögen es auch nicht festzuhalten, sie besitzen eine geringe Wasserkapazität, die letzteren nehmen zwar das Wasser sehr schwer auf, halten es aber auch dafür um so zäher fest. Zu den schwer durchlässigen Böden gehören Tonböden, zu den leicht durchlässigen Sand- und Kalkböden; die ersteren sind deshalb verhältnismäßig nasse, die letzteren trockene Böden. Trocknen Tonböden aber einmal wirklich vollständig aus, so nehmen sie auch sehr schwer wieder Wasser auf, lassen es vielmehr zumeist oberflächlich abfließen, während Sandböden auch bei größeren Regenmengen fast alle Feuchtigkeit einsaugen.

Die letzteren Verschiedenheiten bedingen auch in mancher Hinsicht die Ungleichheiten in der Erwärmung des Bodens. Wir wissen aus der Erfahrung, daß Sandboden warm, Tonboden kalt ist; auf dem letzteren bleibt Schnee länger liegen, die Pflanzen entwickeln sich später als auf Sandboden. Besonders auffällig sind die Unterschiede im Frühjahr, wenn ein warmer Regen niedergeht; auf Sandboden bringt er in kürzester Zeit alles zur Entfaltung, auf schwerem Tonboden ist die Wirkung unmerklich. Das hängt wieder damit zusammen, daß das Wasser die größte Wärmekapazität von allen bekannten Körpern besitzt, d. h. daß es viel mehr Wärmeeinheiten (Kalorien) bedarf, um auf eine bestimmte Temperatur erwärmt zu werden, als irgendein anderer Körper. Umgekehrt kann man mit einem Liter Wasser von höherer Temperatur eine weit größere Menge eines

anderen Körpers auf eine bestimmte Temperatur bringen, als dies mit einem Liter dieses anderen auf die gleiche Temperatur mit dem Wasser gebrachten Körpers der Fall wäre. Ein Liter warmes Wasser vermag fast fünf Liter Boden ebenso hoch zu erwärmen, als fünf Liter Boden von der Temperatur des Wassers dies vermögen, die Wärmekapazität des Wassers ist also fünfmal so groß als die des Bodens. Dringt nun warmes Regenwasser in kalten Boden ein, so vermag es sehr beträchtliche Bodenmengen zu erwärmen und damit auf eine Temperatur zu bringen, bei welcher die Wurzeln ihre Tätigkeit in vollem Maße aufnehmen können und damit auch die Entwicklung der Pflanzen zu ermöglichen. Je mehr Wasser eindringt, desto rascher und reichlicher ist die Erwärmung; das ist aber nur auf Sandboden der Fall, auf dem schwer durchlässigen Tonboden kommt nur wenig warmes Wasser zur Wirkung, der Boden bleibt kalt.

Das ist aber nur eine der Ursachen der ungleichen Erwärmung der Böden; die Wärmekapazität der einzelnen Bodenarten an sich ist, unabhängig von dem Grade der Durchlässigkeit, sehr verschieden. Quarzsand braucht nur den fünften Teil, Torf dagegen fast die Hälfte der Wärmeeinheiten, um auf dieselbe Temperatur mit Wasser erhöht zu werden; auch noch zahlreiche andere Verhältnisse, größere oder geringere Verdunstung, Farbe des Bodens usw. spielen dabei eine Rolle.

Wichtig für die Pflanzen ist ferner noch das Verhalten des Bodens gegenüber den Gasen, der Bodenluft, die für die Wurzeln von hoher Bedeutung ist. Denn die Wurzeln atmen, sie brauchen dazu Sauerstoff und scheiden dafür Kohlensäure aus; findet keine Zirkulation der Gase, keine Durchlüftung statt, so sammelt sich nicht nur die ausgeatmete Kohlensäure in schädlichen Mengen an, sondern auch der Sauerstoff wird zu knapp für die Unterhaltung der Atmung. Nun können aber die Bodenpartikelchen, wie alle festen Körper, an ihrer Oberfläche Gase verdichten, worauf die Absorption des Bodens für Gase beruht; dieselbe ist aber wieder sehr ungleich für die einzelnen Bodenarten, so bei humusreicher Gartenerde viermal so groß als bei sterilem Sand.

Alle diese ganz ungleichen physikalischen Eigenschaften des Bodens, die hier nur kurz angedeutet werden konnten, haben für die Pflanzen eine hohe Bedeutung; im Verein mit den chemischen Eigenschaften des Bodens und den klimatischen Verhältnissen einer Gegend führen sie vielfach zur Entstehung typischer Vegetationsformen, wie sie im folgenden Abschnitt zur Besprechung gelangen.

XI. KAPITEL

Typische und atypische Pflanzenformen

Jede Pflanzenart zeigt ein ihr eigentümliches Aussehen, das von dem einer andern in ganz bestimmter Weise verschieden ist. Diese Verschiedenheit erweist sich für unser Auge im allgemeinen um so auffälliger, je größer die Pflanzen sind; auch der Laie wird schon von weitem eine Pyramidenpappel von einer Eiche

unterscheiden. Und doch kommt die Stieleiche in einer Wuchsform (f. *fastigiata*) vor, in der sie ganz wie eine Pyramidenpappel aussieht. (Fig. 130.) Solche Pyramideneichen kommen wild in Hessen, im südlichen Frankreich, in den Pyrenäen vor; sie pflanzen sich zum Teil durch Samen fort, während ein anderer Teil der Samen einer Pyramideneiche wieder gewöhnliche Stieleichen liefert. In Parkanlagen wird sie nicht selten gefunden.

Wie kommen solche von der typischen Wuchsform abweichende Pflanzengestalten zustande? Wir wissen, daß die Stellung der Äste durch die Schwerkraft beeinflusst wird, Äste sind transversal geotrop, d. h. sie nehmen zur Richtung der Schwerkraftwirkung eine bestimmte Querlage ein. Der Winkel, den die Äste mit dem Stamm bilden — infolge dieser Schwerkraftwirkung — ist bei den einzelnen Baumarten verschieden groß; bei der Stieleiche gehen die älteren Äste in fast rechtem Winkel vom Stamme ab — das Gewicht des Astes wirkt dabei natürlich mitbestimmend —, bei der Pyramidenpappel stehen sie steif aufrecht unter sehr spitzem Winkel mit der Hauptachse nach oben. Die Schwerkraftwirkung äußert sich also bei beiden Pflanzenarten in ganz verschiedener Weise.

Nun findet sich plötzlich eine Stieleiche, deren Äste unter gleichem Winkel vom Stamme abgehen, wie bei der Pyramidenpappel und die damit auch ein ähnliches Aussehen wie diese gewinnt. Es muß hier also plötzlich eine Änderung der Reaktion auf den Schwerkraftreiz stattgefunden haben, wodurch aber diese Änderung herbeigeführt worden ist, wissen wir nicht.

Eine andere, sehr häufige Form atypischen Wuchses begegnen wir auf unseren Friedhöfen und in Parkanlagen in den Trauerbäumen; namentlich Eschen und Buchen neigen zu dieser abweichenden Form, doch kommt sie auch bei zahlreichen anderen Baumarten, wenn auch seltener vor. Daß auch diese in der Gestalt so auffallenden und charakteristischen Trauerformen keine selbständigen Arten darstellen, geht schon daraus hervor, daß sie nicht samenbeständig sind, sondern immer wieder in die Stammform zurückschlagen.

Bei allen Trauerformen unserer Bäume beruht die eigentümliche Gestaltung im wesentlichen darauf, daß die Äste stark verlängert und dabei verhältnismäßig

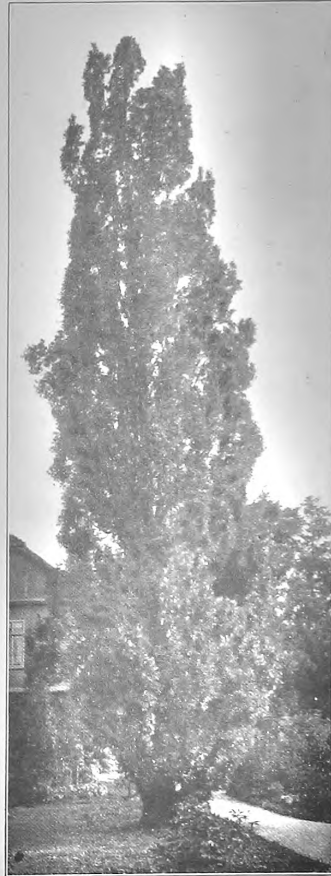


Fig. 130. Pyramideneiche

viel dünner sind als bei den Normalformen, so daß sie ihr eigenes Gewicht nicht tragen können und herabhängen müssen. In wie weit die Schwerkraft auch hierbei beteiligt ist, mag unerörtert bleiben. Ästen, die sich zunächst aufrichten und gewissermaßen einen Wipfel bilden wollen, blüht früher oder später dasselbe Schicksal; nur selten kommt es vor, daß bei solchen Trauerbäumen ein Ast dauernd die Tendenz des aufrechten Wuchses beibehält wie dies bei der alten Trauerbuche auf Tafel 5 der Fall ist. Auch ihm wird es, wie man an den zahlreichen Krümmungen sieht, schwer, die angenommene aufrechte Richtung bei-



Fig. 131. Junge Schlangenfichte

zubehalten; die langen, dünnen, noch dazu größerenteils einseitig entspringenden Seitenzweige suchen ihn herabzuziehen. Zweige, die zunächst aufrecht wachsen, entspringen fast regelmäßig an dem höchsten Punkt eines gebogenen, herabhängenden Zweiges, hängen später mit ihrem Ende auch herab und tragen selbst wieder an der Biegung einen anfangs aufrechten Ast, wodurch eine gewisse Regelmäßigkeit in den Aufbau des Astwerkes hineingebracht wird.

Die Trauerformen sind Kulturprodukte und wie schon erwähnt im allgemeinen nicht aus Samen zu erziehen, sondern durch Pfropfung usw. zu vermehren. Doch kommt es auch mitunter bei den Trauerformen vor, daß wenigstens ein Teil der Samen wieder die Trauerform liefert, z. B. bei der Traueresche.

Auch bei den Nadelhölzern kommen solche abweichende Baumgestalten nicht



Trauerbuche mit aufrechtem Aste



selten vor und sind hier zuweilen schon zu ziemlich konstanten Formen geworden, z. B. die Schlangenfichten und Hängefichten, in denen man kaum mehr unsere gewöhnliche Fichte wiedererkennt. Fig. 131 und 132.

Bekannt ist es ferner, daß der Gärtner eine Menge atypische „Gartenformen“ züchtet, die sehr oft den Stammformen kaum mehr ähneln; die Mehrzahl von ihnen läßt sich aber auch nur vegetativ, nicht durch Samen vermehren, sonst tritt die Stammform immer wieder hervor.

Welche Ursachen das Zustandekommen solcher abweichender Formen, die doch wenigstens in ihren auf vegetativem Wege erzielten Abkömmlingen einen gewissen



Fig. 132. Fichtenform

Grad von Konstanz erreicht haben, bedingen, ist unbekannt; Mutation, sprunghafte Veränderung mag dabei eine Rolle spielen, aber sie ist hier anders aufzufassen als bei der Entstehung neuer Arten in dem Sinne von De Vries. Denn die entstandenen Veränderungen sind nicht oder nur selten samenbeständig. In allen diesen Fällen sind jedoch zweifellos innere Ursachen für die entstandenen Veränderungen maßgebend, wenn auch vielleicht äußere Einwirkungen gewissermaßen auslösend wirken können.

Eine sehr beträchtliche Anzahl von stark auffallenden Veränderungen der normalen Pflanzengestalten wird jedoch ausschließlich durch äußere Einwirkungen hervorgerufen, wenn auch die Pflanze darauf in besonderer Weise reagiert. Hierher gehören zunächst alle diejenigen Veränderungen der Form, die durch äußere Beschädigungen der verschiedensten Art herbeigeführt werden. Wie

das regelmäßige Abweiden auf Fichten wirkt, ist bereits früher erwähnt (Seite 176 Fig. 85 und 86); ähnlich abnorme Formen sind die Weidbuchen wie sie z. B. im südlichen Schwarzwald nicht selten sind; sie gleichen in ihrer Gestalt ganz den Weidfichten. Auch andere Baumarten, wie Weißbuchen, zeigen unter dem Einfluß des regelmäßigen Abweidens dieselben Erscheinungen.

Auch durch Insektenfraß kann das Aussehen mancher Bäume nicht nur vorübergehend völlig verändert werden. So kann ein Käfer *Myelophilus piniperda* L. da, wo er in Menge auftritt, den Wuchs der Kiefer so vollständig verändern, daß man



Fig. 133. Siebenwipflige Fichte

sie kaum ihrer Gestalt nach wiedererkennen kann. Der Käfer hat deshalb der gestaltverändernden Tätigkeit wegen den bezeichnenden Namen „Waldgärtner“ erhalten.

Verletzungen der Gipfeltriebe durch Windbruch, Hagel, Schneedruck oder selbst durch das Gewicht größerer aufbaumender Vögel, durch Tierfraß (z. B. Eichhörnchen, Auerwild, auch Insekten) werden von Laubhölzern gewöhnlich ohne besondere Störung des Charakterbildes ertragen, da ja hier so ausgesprochene Gipfeltriebe wie bei den Nadelhölzern gar nicht vorkommen. Bei den letzteren tritt aber stets eine mehr oder minder auffallende Veränderung des Aussehens ein.

Der verlorengegangene Gipfeltrieb wird durch die Triebe des darunter liegenden Zweigwirtels ersetzt, indem der ihnen bis dahin innenwohnende Transversalgeotropismus verschwindet und der der Achse zukommende negative Geotropismus

dafür eintritt. Oft richtet sich nur ein Zweig des Wirtels auf, und wenn dies an noch jungen Trieben geschieht, so kann dieser Zweig im Lauf der Jahre so vollständig in Lage und Richtung des verloren gegangenen Wipfels treten, daß man kaum eine leichte Biegung am Grunde dieses Sekundärwipfels bemerkt.

Je älter aber die Quirläste schon sind, desto weniger vermögen sie sich ganz in die Richtung des ursprünglichen Wipfels zu stellen, desto weiter vom Stamme ab erfolgt gewöhnlich auch die Aufwärtskrümmung, so daß auch nach vielen



Fig. 134. Kandelaberfichte

Jahren noch deutlich die Schädigungsstelle zu erkennen ist. Dagegen erscheint es merkwürdig und für die Größe des Schwerkraftreizes bezeichnend, daß selbst schon alte und ziemlich dicke Äste sich unter gewissen Verhältnissen noch aufzurichten vermögen, besonders wenn der ganze Baum, wie dies im Gebirge an Steilhängen oder an Flußufern nicht selten der Fall ist, durch Erdrutsch, Schneeeindruck usw. in eine schräge oder ganz horizontale Lage gekommen ist.

Hierdurch und durch die Eigentümlichkeit, daß sich, namentlich bei Fichten sehr oft mehrere oder alle Zweige eines Quirls aufrichten und zu Sekundärwipfeln werden, kommen oft die merkwürdigsten Baumgestalten zustande, besonders auch die als Kandelaber- und Harfenbäume bezeichneten Formen. In Fig. 133 ist eine

auf Hoffmannsruhe bei Oberstdorf im Allgäu stehende Fichte abgebildet, bei der sich etwa im oberen Drittel der Höhe alle sieben Zweige eines Quirls nach dem Verlust des ursprünglichen Gipfeltriebes aufgerichtet haben und zu Sekundär-gipfeln geworden sind. Die Spitze dieser siebengipfeligen Fichte ist deshalb außerordentlich dicht, wie eine Fichtenhecke, aber der typisch pyramidenförmige Wuchs ist fast vollkommen gewahrt.

Weit häufiger sind Baumgestalten, wie sie in Fig. 134 und 135 dargestellt sind.

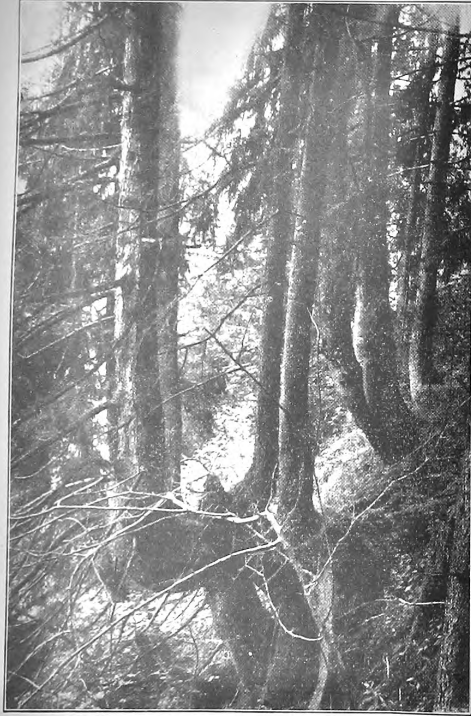


Fig. 135. Kandelaberfichte

Bäume, die schon in früher Jugend den Wipfeltrieb verloren haben und bei denen sich mehrere Quirläste nicht weit über dem Boden aufgerichtet und zu mitunter ansehnlichen Bäumen entwickelt haben. Solche „Kandelaberbäume“ sind ebenfalls im Gebirge besonders häufig, kommen aber natürlich auch gelegentlich in der Ebene vor.

Hin und wieder wird man in geschlossenen Fichtenwäldern einmal eine Erscheinung beobachten, die darin besteht, daß eine mehr oder weniger große Anzahl Stämme in gleicher Höhe unter der Spitze Krümmungen oder Unregelmäßigkeiten zeigen. Selten ist diese Erscheinung sehr auffallend, meist muß man schon sehr aufmerksam sein, um sie wahrzunehmen, in seltenen Fällen kann sie aber selbst so

ausgeprägt sein, daß das Aussehen des Waldes dadurch merklich verändert wird. Die gleiche Entfernung dieser Verkrümmungen oder Verkrüppelungen von der Spitze läßt schon darauf schließen, daß sie gleichzeitigen Schädigungen ihr Dasein verdanken, und in der Tat werden sie durch den ganzen Wald treffende atmosphärische Einflüsse hervorgerufen, besonders durch schwere Hagelwetter, mitunter auch durch Schneedruck oder abnorme Rauhreifbildungen, wodurch die Wipfeltriebe vieler Bäume gleichzeitig beschädigt oder vernichtet werden. Schädigungen durch Hagelschlag verwachsen sich später wieder oft ziemlich, weil sie meist nur die jüngsten Triebe treffen; nur durch die vielfach zu beobachtende Mehrwipfligkeit in gleicher Höhe bleibt dem Walde ein Andenken an das erlebte Unwetter.

F Ü N F T E R A B S C H N I T T

Die Pflanzengesellschaften

I. KAPITEL

Die Bedingungen für das Gesellschaftsleben der Pflanzen

KLIMA und Bodenverhältnisse schaffen an den verschiedenen Orten der Erde ganz ungleiche Lebensbedingungen. Wo aber überhaupt noch die Bedingungen für pflanzliches Leben gegeben sind, da siedeln sich auch Pflanzen an, die diesen speziellen Verhältnissen angepaßt, aber an andern Stellen nicht anzutreffen sind, weil ihnen hier die Lebensbedingungen weniger zusagen und sie von Pflanzen verdrängt werden, die wieder an diese Verhältnisse angepaßt sind. Überall, wo der Mensch noch nicht umgestaltend in die Zusammensetzung der lebenden Bodendecke eingegriffen hat, findet sich deshalb eine charakteristische den örtlichen Verhältnissen entsprechende Pflanzenwelt.

Der Mensch mit seiner Kultur hat freilich fast überall, wo er sich häuslich eingerichtet hat, diese ursprüngliche Pflanzenwelt vernichtet und an ihre Stelle künstlich eine andere gesetzt, so daß man nur in unkultivierten Gegenden erwarten kann, ein Bild der ursprünglichen Vegetationsformen zu erkennen.

Aber nicht alles ist verschwunden, was an diese ursprüngliche Pflanzendecke erinnert, unsere Wiesen, zum Teil sogar noch unsere Wälder zeigen noch manche Pflanzengestalten, die der Kultur nicht zum Opfer gefallen sind, und andererseits haben sich andere Arten eingestellt, die den neuen Vegetationsverhältnissen, dem Gesellschaftsleben unter dem Einfluß der menschlichen Kultur, ihre weite Verbreitung verdanken. Mit dem Getreidebau sind die mancherlei Ackerunkräuter zur mächtigen Entwicklung gelangt, Kornblume und Kornrade, die man anderswo kaum findet, begleiten die Roggen- und Weizenfelder und würden nur kümmerlich und vereinzelt zur Entwicklung kommen, wenn ihnen die Getreidefelder entzogen würden. Es sind Pflanzen, die in die Gesellschaft des Getreides gehören, weil ihnen dieselben Verhältnisse, unter denen sich das Getreide am besten entwickelt, ebenfalls am meisten zusagen.

Das Gesellschaftsleben der Pflanzen beruht eben darauf, daß unter den gegebenen örtlichen Verhältnissen nur eine mehr oder weniger große Anzahl von Pflanzen, denen diese Verhältnisse besonders zusagen, nebeneinander zur Entwick-

lung kommt, während andere Arten, die ohne den Konkurrenzkampf mit den besser gedeihenden Schwestern sich ebenfalls noch entwickeln könnten, unterdrückt werden. Pflanzen mit gleichartigen Ansprüchen treten zu den Pflanzengesellschaften zusammen, sie teilen Luft, Licht und Nahrung. Aber auch Pflanzen mit verschiedenen Ansprüchen, ja mit gänzlich verschiedenen Eigenschaften finden sich in ein und derselben Pflanzengemeinschaft, was die einen nicht mehr auszunützen imstande sind, reicht für andere noch zu normaler Entwicklung aus. Es findet dann eine Ergänzung zwischen den einzelnen Komponenten einer Pflanzengesellschaft statt, die zu einer möglichst vollkommenen Ausnutzung von Raum und Nahrung führt.

Sehr selten wird unter natürlichen Verhältnissen der Fall eintreten, daß die ganze Pflanzengesellschaft nur aus Individuen ein und derselben Art besteht, auch wenn man von etwaigen Parasiten oder Epiphyten absieht. Nur unter der Einwirkung der menschlichen Kultur kommen solche Vegetationsformen vor; ein geschlossener Fichtenwald bleibt oft bis in das hohe Alter hinein frei von andern Pflanzen. Aber auch das sind Ausnahmen, gewöhnlich werden mehrere, selbst viele Arten an dem Gesellschaftsleben teilnehmen. Da zeigt es sich nun wieder, daß einzelne Arten sehr exklusiv sind und namentlich mit ihren Verwandten schlecht auskommen. Viele Nadelhölzer mögen keine anderen Bäume in ihrem Verein dulden, die Buche unterdrückt im geschlossenen Bestand fast alle anderen Bäume, und sehr oft herrscht gerade unter ähnlichen Arten der erbitterteste Kampf um die Existenz. So wird die Eiche mehr und mehr von der Rotbuche aus dem deutschen Walde verdrängt, nicht bloß weil der Forstmann die Buche bevorzugt, sondern weil diese, wo sie mit der Eiche zusammentrifft im Kampf um Raum und Licht siegreich bleibt. Auch der Kampf unter den Individuen der gleichen Art ist viel heftiger als zwischen Pflanzen mit ganz verschiedenen Ansprüchen. Denn während sich diese letzteren oft ausgleichen und nebeneinander ihre Befriedigung finden, verlangen die Individuen der gleichen Art dasselbe; ihre Ansprüche steigern sich mit zunehmendem Wachstum, bis sie nicht mehr voll befriedigt werden können, und der Schwächere geht zugrunde, während der Stärkere jetzt auch den Anteil des ersteren an Raum, Licht und Nahrung bezieht.

Andere Pflanzen vertragen eine große Geselligkeit und kommen im Verein mit zahlreichen Verwandten vor, so die Gräser unserer Wiesen. Sie haben auch Vorteile von dem engen Zusammenleben, sie schützen sich gegenseitig, halten zwischen ihren Zweigen und Blättern eine ruhigere und wasserdampfgesättigtere Luftschicht fest, beschatten den Boden und bewahren ihn vor zu rascher Austrocknung. Die Laub- beschatten den Boden und bewahren ihn vor zu rascher Austrocknung. Die Laub- decke im Herbst oder die vertrocknenden dichten Grashalme bilden eine geschlosseneren, gegen das Eindringen der Kälte besser schützende Decke, als sie die einzelne Pflanze zu bilden vermöchte. Besonders wenn eine einzige Art in sehr zahlreichen Individuen dicht gedrängt vorhanden ist, zeigt sich für sie ein großer Vorteil bei der Bestäubung. Dieselbe wird viel umfangreicher und rascher sich vollziehen, namentlich bei windblütigen Pflanzen, als wenn die einzelnen Individuen weit auseinanderstehen.

Es gibt auch viele Pflanzen, die durchaus auf das Zusammenleben mit anderen angewiesen sind; Epiphyten und viele Lianen brauchen lebende Pflanzen zu ihrer Existenz, und die lichtscheuen Moose und Farne, die am Grunde feuchter Wälder leben, würden ohne den Schirm der hohen Bäume verschwinden. Gerade aber hier zeigt sich die große Verschiedenheit in den Lebensbedürfnissen von Pflanzen, die ein und derselben Gesellschaft angehören. Die einen brauchen viel Licht, die andern wenig und kommen noch mit den Lichtmengen aus, die die ersteren übriglassen.

Im allgemeinen wird es aber immer einige Arten geben, die der Pflanzengesellschaft ihr charakteristisches Gepräge aufdrücken, entweder durch die Zahl ihrer Individuen oder durch ihre Größe; es sind die herrschenden Geschlechter. So wird man im Wald die Bäume, in der Wiese die Gräser als die typischen Vertreter dieser Vegetationsformen betrachten, während die andern Mitglieder mehr untergeordnete Stellen einnehmen. Beide Pflanzengemeinschaften sind auch zugleich die ausgeprägtesten und verbreitetsten.

In ihren Extremen sind die verschiedenen Vegetationsformen scharf voneinander getrennt. Eine Wiese, wie sie unsere Flußtäler bedeckt, grenzt sich von dem danebenstehenden Buchenhochwald scharf ab, aber das sind zumeist künstlich durch die Kultur geschaffene Grenzen. Wo sich die Pflanzen ohne Eingriffe des Menschen entwickeln konnten, erscheinen Übergänge von der einen Vegetationsform in die andere; ein Kiefernwald läuft allmählich in das Heidemoor aus, und der Urwald verliert sich unmerklich in die baumlose Savanne. Das ist auch natürlich, denn in der Wildnis sind keine Grenzgräben gezogen, wie sie bei uns den Staatswald von der bauerlichen Wiese trennen, die Übergänge zwischen klimatischen Verschiedenheiten sind meist unmerklich, und selbst zwischen den Bodenverhältnissen gibt es nur stellenweise schroffe Grenzen. Der Übergang von der einen zur andern Vegetationsform wird deshalb ebenfalls ein allmählicher sein, und es werden sich Zwischenformen einstellen, die man mit gleichem Rechte dem Wald und der Wiese zurechnen kann.

Auch sind die Grenzen der verschiedenen Pflanzengesellschaften durchaus keine unabänderlich festen, selbst da, wo der Mensch nicht eingreift, im Gegenteil, es finden fortwährend Veränderungen statt, ohne daß es aber bisher hat gelingen wollen, die Ursachen dieser Veränderungen im einzelnen sicher zu erkennen. Die merkwürdigen zähen Kämpfe zwischen einzelnen Pflanzenarten oder ganzen Vegetationsformen, die zum allmählichen Verdrängen der einen durch die anderen führen, harren zumeist der Erklärung, wenn auch vereinzelt Anhaltspunkte vorhanden sind. Der Kampf zwischen Eiche und Buche wurde schon erwähnt. Fast überall, wo beide Bäume zusammentreffen und der Mensch sich in ihren Kampf nicht einmischt, verschwindet die Eiche, nur an feuchten Stellen, die von der Buche gemieden werden, oder auf dürrer Sandboden bleibt die Eiche erhalten. Beide aber gehen im Kampf mit der vordringenden Heide unter.

In der oberrheinischen Ebene, die in früherer Zeit von mächtigen Eichenwäldungen bedeckt war, will dieser Baum nicht mehr über eine gewisse Grenze

hinaus gedeihen; man schreibt das wohl nicht mit Unrecht der Rheinkorrektion zu, mit welcher ein Sinken des Grundwasserspiegels zusammenhängt. Die Eiche ist aber da, wo sie sich üppig entwickeln soll, an eine größere Bodenfeuchtigkeit gebunden, als beispielsweise die Buche, und wo der Grundwasserspiegel sinkt, werden die Existenzbedingungen für die letztere sich heben, für die erstere zurückgehen. Durch Austrocknung größerer Strecken, Anlage von Abzugsgräben und Kanälen ist aber in vielen Gegenden ein Sinken des Grundwasserspiegels herbeigeführt worden und damit auch eine Veränderung der Lebensbedingungen, die vielleicht für den Kampf der beiden Baumarten ausschlaggebend war. Auch in Jütland, das ehemals fast ganz von Eichenwaldungen bedeckt war, ist dieser Waldbaum bis auf geringe Reste verschwunden.

Freilich treten jedenfalls auch noch andere Umstände als die Trockenlegung des Bodens hinzu, um den gewaltigen Kampf zwischen diesen beiden mächtigen Pflanzengestalten zugunsten der Buche zu entscheiden; so mag der raschere Wuchs, die geringere Lichtbedürftigkeit und damit der geschlossenere Bestand für die Buche von Vorteil sein. Aber diese Faktoren konnten doch erst in zweiter Linie Bedeutung erhalten, nachdem sich eine Änderung in den örtlichen Verhältnissen vollzogen hatte. Ist es die Kultur, die der Eiche die Lebensbedingungen raubt auch da, wo sie ihr Schutz gewähren will, oder sind es Veränderungen in Klima und Boden, die sich unabhängig vom menschlichen Tun entwickeln? Wir wissen es nicht! Aber mit einem gewissen Mitleid sehen wir die stolze Eiche, die uns Deutschen so besonders ans Herz gewachsen ist, mehr und mehr verschwinden und einem andern, in seiner Art zwar nicht minder schönem Waldbaum Platz machen, der aber doch lange nicht in Geschichte und Sage von einem so poetischen Zauber umgeben ist.

Etwas leichter verständlich ist uns das allmähliche Vordringen der Heide, deren hauptsächlichster Vertreter, das Heidekraut (*Calluna vulgaris*) nur auf einem besonders nährsalzarmen Boden gedeiht. Es würde sich nicht entwickeln können, wenn nicht wenigstens die obersten Schichten des Bodens, soweit seine Wurzeln reichen, einen hohen Grad der Verwitterung und Auslaugung erreicht hätten. Man kann also hier annehmen, daß der natürliche Verwitterungsprozeß im Boden seinem Ende zugeführt wird, wo das Heidekraut sich einstellt und den Wald verdrängt.

Auch die Art und Weise der Fortpflanzung ist in manchen Fällen ausschlaggebend für den Sieg oder das Überhandnehmen der einen Art und das Zurückdrängen der andern. Die auf sumpfigem Grunde am Rande stehender Gewässer sich einfindenden *Phragmites communis*, unser Schilfrohr, die Typha- und Scirpusarten, Binsen, kurz alle Formen des Schilfwaldes, brauchen nicht erst bis zur Samenreife zu warten, um ihre Individuen zu vermehren. Sie besiedeln ein ihnen zusagendes Gebiet sehr frühzeitig durch Ausläuferbildung, früher, als dies andere Pflanzen durch Samen tun können. Und auch hier heißt es: *beati possidentes*, die im glücklichen Besitz Befindlichen lassen andere erst gar nicht zwischen sich aufkommen. Charakteristisch für diese Sumpfvegetation ist es auch, daß mehreren der oben aufgeführten Arten die Fähigkeit, keimfähige Samen zu

bilden, fast ganz verloren gegangen ist, sie pflanzen sich bei uns wenigstens nahezu ausschließlich durch Ausläufer fort.

In anderen Fällen kommt eine Veränderung in der Zusammensetzung einer Flora durch Einwanderung neuer Arten und Verdrängung einheimischer zustande. Daß Pflanzen wandern, ist eine allgemein bekannte Tatsache, in welchem Maße aber solche Wanderungen stattfinden, und wie sehr sie die heimische Flora verändern können, ist weit weniger bekannt, weil sich die Veränderungen meist ziemlich langsam vollziehen. Auch hier findet sehr häufig ein Kampf der neuen



Fig. 136. *Galinsoga parviflora*, etwas verkleinert

Eindringlinge mit ganz bestimmten alteingesessenen Arten statt, die gewöhnlich zuletzt das Feld räumen müssen. So hat die Wasserpest in den siebziger Jahren in raschem Zuge unsere Gewässer erobert und dabei an vielen Stellen die einheimische Wasserflora vernichtet. In der Pfalz, unweit Karlsruhe tobt zurzeit ein zwar stummer aber nichtsdestoweniger erbitterter Kampf zwischen einem alteingesessenen Ackerunkraut, dem *Mercurialis annuus* und einem aus den Hochebenen von Peru zu uns herabgestiegenen, noch viel zudringlicheren Unkraut. Es ist die kleine *Galinsoga parviflora*, ein unscheinbares Pflänzchen mit kleinen Blüten, welches aber in Gegenden, die es einmal erobert hat, schwer wieder zu verdrängen sein dürfte. Am liebsten entwickelt es sich auf Gartenland, oder, wie *Mercurialis annuus* auf Kartoffeln- und Rübenäckern, die nicht durch wiederholtes Behacken rechtzeitig vom Unkraut freigehalten werden, und hier eben spielt

sich auch der Kampf zwischen beiden Pflanzen ab, der immer mehr mit der Zurückdrängung des *Mercurialis* endet.

Wir kennen noch viele andere Eindringlinge, die sich bei uns reichlich auf Kosten der einheimischen Flora entwickelt haben, so die kleine, schattige, fruchtbare Orte der Ebene bevorzugende *Impatiens parviflora*, ferner die an Dämmen und namentlich an solchen in Flußtälern verbreiteten Nachtkerzenarten (*Oenothera*), das den ödesten Plätzen an Eisenbahndämmen usw. eigene und den letzteren folgende kanadische Berufskraut (*Erigeron canadense*). Umgekehrt haben sich auch europäische Pflanzen in andern Weltteilen angesiedelt; fast überall, wo der Europäer hingekommen ist, haben sich beispielsweise Brennesseln eingefunden, und das Vorkommen von Brennesseln an der Küste Grönlands bei ihrer Entdeckung in der Neuzeit wird mit Recht als ein Zeichen dafür angesehen, daß bereits früher dort Siedelungen von Europäern bestanden haben. Die Brennessel ist eben eine Pflanze, die in fast jedem Klima fortkommt, wenn ihr nur guter Boden zur Verfügung steht; besonders liebt sie die menschlichen Ansiedelungen mit ihren reichlichen stickstoffhaltigen Abfällen.

Auch die Wegebreitarten sind dem Menschen über den Ozean gefolgt, und der Indianer nennt sie „die Pflanzen des weißen Mannes“, weil sie mit dem Weißen immer weiter von Osten nach Westen vordringen. Ja an manchen Stellen Amerikas ist die heimische Flora fast verdrängt durch europäische Einwanderer, so sollen um Buenos Aires fast $\frac{3}{4}$ der dort vorkommenden Pflanzen europäischen Ursprungs sein und zumeist dem Mittelmeergebiet entstammen. Daß solche Masseneinwanderungen den Charakter einer Flora vollständig verändern können, braucht nicht erst besonders hervorgehoben zu werden.

Ein Faktor, der in bezug auf die Veränderungen in der Zusammensetzung der Vegetationsformen zwar den größten Einfluß ausübt, aber doch nur sehr langsam in Erscheinung tritt, ist das Klima. Es kann gar keinem Zweifel unterliegen, daß das Klima auf der Erde oder auf einzelnen Teilen derselben einem wiederholtem Wechsel unterworfen ist. Erst in der Tertiärzeit machen sich deutliche Klimazonen bemerkbar; in noch früheren Perioden herrschte auch in Grönland eine Temperatur, die dort zu den mächtigen Vegetationsformen der Steinkohlenflora führte. Am Ende der Tertiärzeit kam ein gewaltiger Rückschlag, die Eiszeit, von der nicht nur Europa, sondern Nordasien und Nordamerika, ja vielleicht gleichzeitig auch die Länder, die nach dem Südpol hinweisen, betroffen wurden. Auch diese Eiszeit war keine zusammenhängende Kälteperiode, sondern durch wiederholte wärmere Zeitabschnitte, Interglazialzeiten, unterbrochen, und es gibt bekanntlich Forscher, die auch in der gegenwärtigen Periode nur eine Interglazialzeit erblicken.

Dieser gewaltige Wechsel in den klimatischen Verhältnissen eines Landes mußte naturgemäß eine völlige Veränderung in der Zusammensetzung der Flora mit sich bringen. Pflanzen, die jetzt nur in den subtropischen Gebieten vorkommen, bedeckten in der Tertiärzeit Mitteleuropa; sie verschwanden unter dem Einfluß der nordischen Kälte, und wo die Gletschermassen im Gebirge Abhänge und Felsenschroffen frei ließen, entwickelten sich jetzt Pflanzengestalten des hohen

Nordens. Es ist auch nicht unmöglich, daß die riesigen Gletscher Nordeuropas, die bis zu den deutschen Mittelgebirgen reichten, die Samen arktischer Arten mit sich brachten, vielleicht auch lebende Pflanzen, die auf dem Felsgeröll der Moränen mitwanderten. Ist es doch gar keine Seltenheit, daß man an den in der norddeutschen Tiefebene zerstreuten eratischen Blöcken hochnordische Moosarten findet, die auf den Felsmassen die Wanderung aus ihrer skandinavischen Heimat vor vielen Jahrtausenden angetreten hatten.

Als dann die Eiszeit einem milderen Klima wich, kamen neue Ansiedler aus wärmeren Gebieten und drängten die nordische Flora in die Hochgebirgswelt, wo sie besser imstande war, den Kampf mit den Eindringlingen aufzunehmen. Deshalb sind in den Alpen noch so manche Reminiszenzen an die Eiszeit erhalten.

Solche Veränderungen des Klimas vollziehen sich aber unmerklich langsam, innerhalb Perioden, für welche die menschliche Geschichte noch zu kurz ist. Wohl aber haben sich in historischer Zeit lokale Veränderungen bedeutsamer Natur vollzogen, für die gewöhnlich auch das Klima verantwortlich gemacht wird, an denen wohl aber auch die umgestaltende Tätigkeit des Menschen einen hervorragenden Einfluß hat. Denn der niedergeschlagene Wald, die von Gräben durchzogene, entwässerte Ebene, der korrigierte Flußlauf sind nicht bloß unmittelbare Veränderungen, sondern sie mögen auch noch Nachbargebiete in Mitleidenschaft ziehen, welche nicht direkt von der Hand des Menschen berührt wurden. Nicht unmöglich ist es, daß auch das Klima bis zu einem gewissen Grade durch solche tiefgehende Veränderungen beeinflusst wird, obwohl sich dafür vollständig sichere Anhaltspunkte noch nicht haben finden lassen. Ganz zweifellos ist aber ihr Einfluß auf den Wassergehalt des Bodens und damit hängt wieder ein Wechsel in der Fruchtbarkeit des letzteren zusammen. Länder, die zur Zeit der Griechen und Römer zu den fruchtbarsten der Erde gehörten, sind jetzt kaum imstande, eine kümmerliche Bevölkerung zu ernähren oder sind selbst zur Einöde geworden.

Durch die Anlage von Gräben und Kanälen findet eine Entwässerung des Bodens statt, die stellenweise weit über das natürliche Maß hinausgeht, wie sie durch Flüsse und Bäche stattfindet. So wird zwar an vielen Stellen Boden für den Ackerbau gewonnen, aber auch gleichzeitig die ursprüngliche, an größere Feuchtigkeit angepaßte Pflanzenwelt vernichtet. Da der Grundwasserspiegel durch solche Maßnahmen natürlich sinkt, werden nicht bloß Sümpfe und Moore trockengelegt, sondern auch in weiterer Entfernung wird der Boden trockener, und wo vorher üppige Laubwälder gediehen, tritt allmählich die genügsame Kiefer hervor. Die Eichen verlieren ihren Höhenwuchs und bilden nur noch Gestrüpp, wo sie sich noch natürlich verjüngen.

Auch die Flußkorrekturen wirken in ähnlicher Weise. Die deutschen Flüsse und Ströme spalteten sich früher in zahlreiche Arme, die teils auch bei niedrigem, teils aber nur bei höherem Wasserstand fließendes Wasser hatten. Aber sie waren mächtige Reservoirs, die bei der Schneeschmelze und bei anhaltenden starken Regengüssen gewaltige Wassermassen aufnahmen und erst allmählich wieder abgaben. Sie füllten sich mit dem Wasser, welches die Ufer

des Stromes nicht zu fassen vermochten und hielten von dieser Fülle noch wochenlang Wasser zurück, das dann nicht bloß dem sinkenden Strom, sondern auch dem Grundwasser zugute kam. Jetzt sind diese natürlichen Regulierungseinrichtungen vom Strom abgeschnitten, zum Teil verlandet, sie nähren den Strom nicht mehr und werden von ihm nicht mehr ernährt. Die Wassermassen eilen rasch an ihnen vorüber und werden dem Meere zugeführt, ohne der Flußniederung einen Nutzen zu gewähren; das Bett des Stromes muß alles allein bezwingen. Steigen und Fallen des Stromes geht jetzt in viel kürzerer Zeit vor sich, und dieselben Wassermassen, die einst seinen Spiegel kaum um einen Fuß erhöhten, treiben ihn jetzt um mehr als einen Meter empor.

Mehr aber noch, als Entwässerungen und Flußkorrekturen hat das Verwüsten der Wälder einen nachteiligen Einfluß auf die Fruchtbarkeit einer Gegend gehabt, und es ist ein Segen, daß sich wenigstens in Deutschland die Überzeugung von dem Wert des Waldes für die Fruchtbarkeit des gesamten Landes festgewurzelt hat. Der Wald ist besonders dazu berufen, eine Regulierung der Bodenfeuchtigkeit herbeizuführen; in seiner Streu, in den Moospolstern, die sich unter seinem Schutze entwickeln, werden enorme Mengen von Niederschlägen zurückgehalten, die sonst oberflächlich abfließen würden; nur langsam gibt der Wald die Feuchtigkeit wieder her. Sie verschwindet auch nicht so leicht durch Verdunstung, denn die sengenden Strahlen der Sonne oder die austrocknenden Winde dringen nur mit gemilderter Kraft zu der feuchten Bodendecke, das schützende Dach der Äste und des Laubes hält sie nach einem Regen noch lange feucht, wenn im freien Land alles schon wieder zu Staub vertrocknet ist. Schon daß die Wälder das rasche Abfließen des Wassers verhüten ist für das Land von hoher Bedeutung durch Herabminderung der Überschwemmungsgefahr. Nirgends treten alljährlich solche furchtbaren Überschwemmungen ein, als in waldlosen Ländern, wie Spanien. Aber dadurch, daß große Wassermassen rein mechanisch, kapillar vom Walde festgehalten werden, kann schließlich auch viel mehr in den Boden eindringen und zum Grundwasser absickern, dessen Stand dadurch gehoben wird. Das kommt aber auch dem Lande zugute, das nicht von Wald bedeckt wird. Die Bodenfeuchtigkeit wird erhöht, und damit auch in regenlosen Zeiten dem Boden ein unschätzbares Kapital erhalten, das in waldlosen Ländern verlorengegangen ist. Kleinasien, Mesopotamien und selbst das im Altertum noch so fruchtbare Spanien sind verarmt, entvölkert, weil der Boden nicht mehr hervorbringt, was er in früheren Zeiten, als die Gebirge noch von Wäldern bedeckt waren, so reichlich gegeben hat. Überschwemmungen wechseln mit Zeiten der Dürre, und wenn auch an günstigen Stellen noch die alte Fruchtbarkeit geblieben ist, große Strecken dieser Länder sind verödet. Von den felsigen Gebirgen ist das Erdreich weggewaschen; die sonst so üppigen und fruchtbaren Flußtäler lohnen kaum die Bebauung, weil doch jedes Jahr die Ernte durch Überschwemmungen vernichtet wird, und auf den höher gelegenen Stellen verdorrt das Getreide, ehe es reif wird.

Es ist kaum anzunehmen, daß hier eine Änderung des Klimas die Schuld trägt. Dieselben Niederschlagsmengen werden auch jetzt noch in diesen Gebieten fallen, wie vor 2000 Jahren, nur werden sie eben nicht mehr so vom Boden

festgehalten. Wo, wie in einigen Gegenden Kleinasiens, Bewässerungsanlagen vorhanden sind, trägt der Boden noch heute in überraschender Fülle, und dies ist zugleich auch ein Beweis, daß die Temperaturverhältnisse einer üppigen Entwicklung nicht entgegenstehen. Aber die Waldverhältnisse haben sich gänzlich verändert; wo zur Zeit Salomos mächtige geschlossene Zedernwälder den Libanon bedeckten, ist heute ein kümmerlicher Rest von wenigen hundert Stämmen vorhanden, kümmerliche Büsche und von der Sonnenglut verbrannte Grasbüschel decken den steinigen Boden. Auch in dem weitaus größten Teil von Spanien sind die Wälder verschwunden, verbrannt und verbaut, aber niemand hat daran gedacht, für Ersatz zu sorgen. Dasselbe Schauspiel vollzieht sich zur Zeit in Amerika; die prachtvollen Wälder werden in rücksichtsloser Weise verwüstet, und auch hier zeigen sich bereits die ersten Anzeichen einer Verminderung der Fruchtbarkeit. Auch hier ist es der Mensch, nicht das Klima, der andere Bedingungen auf großen Gebieten schafft, und damit die Vegetationsformen des Landes beeinflußt, die alten zum Verschwinden bringt und für die Entstehung neuer das Feld bereitet.

II. KAPITEL

Der Wald in seinen verschiedenen Formen

Im allgemeinen verstehen wir unter Wald eine mehr oder weniger eng geschlossene Vereinigung von Holzgewächsen, wozu im weitesten Sinne also auch alle Strauchformen zu rechnen sind; im engeren Sinne faßt man Wald allerdings als eine aus Bäumen gebildete Vegetationsform auf, oder aus baumähnlichen Pflanzen, die nicht eigentliche Holzgewächse sind, wie die Bambusarten. Je nach der Zusammensetzung der Flora ist das Aussehen des Waldes ein unendlich mannigfaltiges; man findet Wälder die aus sehr wenigen und andere die aus überaus zahlreichen Pflanzenarten zusammengesetzt sind, Wälder wieder, in denen die Baumform allein hervortritt und andere Pflanzen dagegen fast verschwinden und wieder Wälder, in denen man die eigentlichen Baumstämme vor anderen Pflanzen kaum zu sehen bekommt.

Aber doch lassen sich zwei große Gruppen unterscheiden: immergrüne Wälder und Wälder mit periodischem Laubfall. Zu den ersteren gehören die tropischen und subtropischen Regenwälder und die immergrünen Nadelwälder der gemäßigten und kälteren Zonen, zum Teil auch die xerophytische Maquisformation der Mittelmeerländer und der australische „Scrub“. Zu den letzteren gehören in den Tropen die sommerdürren Wälder, unter denen die Caatingas Brasiliens wohl die charakteristischste Form sind, die meisten Buschsteppen und Savannenwälder, die Laubwälder der gemäßigteren Zonen, auch die Nadelwälder mit sommergrüner Belaubung.

In unsern Wäldern ist die ursprüngliche Flora verschwunden, sie sind zu künstlichen Kulturen geworden, in denen die für den Menschen nützlichen Arten unter möglichster Verdrängung der weniger nützlichen erzogen werden. Aber

trotzdem bieten die Kulturwälder noch manche interessante Erscheinungen der Geselligkeit unter den Pflanzen, ja gerade die Kulturbedingungen haben vielleicht eine besondere Pflanzengemeinschaft begründet. Schon äußerlich erscheint ein Kiefernwald von einem Fichtenwald verschieden; das große Lichtbedürfnis der Kiefer bewirkt, daß sich die Bäume weit hinauf reinigen, d. h. die unteren Zweige mit ihren Nadeln, die nicht mehr genügend Licht erhalten, abwerfen, und daß die Bäume sich lichter stellen, d. h. größere Zwischenräume zwischen sich lassen. In einem Kiefernwald kommt daher vielmehr Licht auf den Boden, als in dem schattigen Fichtenwald, der Boden ist mehr der austrocknenden Wirkung der Sonnenstrahlen und Winde ausgesetzt, trocknet rasch ab, und auch die darüberstehende Luft enthält keine besonderen Feuchtigkeitsmengen. Dazu kommt, daß die Kiefer, soweit ihre natürlichen Standorte in Betracht kommen, ohnehin magere, nahrungsarme Sandböden bevorzugt, die gewöhnlich trocken, wenn auch meist tiefgründig sind. Sie wächst zwar auch auf flachgründigem Boden, etwa mit felsiger oder kiesiger Unterlage, aber dann wird sie doch sichtlich in ihrer Entwicklung gehemmt und bleibt niedrig; auch auf direkt nassem Boden kommt sie noch fort.

Überall, wo die Kiefer wächst, kann man deshalb im allgemeinen einen Unterwuchs von verhältnismäßig lichtbedürftigen, gleichzeitig aber mehr oder weniger xerophilen Pflanzen erwarten. Von den Holzgewächsen findet sich im Kiefernwalde gern noch die Zitterpappel und die Birke, an niedrigen Sträuchern der Wacholder, an andern Stellen Heidekraut, die Blaubeere, Preiselbeere; besonders häufig sind aber Flechten, unter denen wieder verschiedene Arten der Gattung *Cladonia* am häufigsten sind. Von Moosen sind besonders Arten der Gattung *Dicranum* und *Leucobryum glaucum* häufig, Farne fehlen fast ganz, die Grasflora ist dürrig und besteht meist aus schmalblättrigen xerophilen Arten, wie *Festuca ovina*, *Aira flexuosa*, stellenweise auch, besonders auf etwas moorigem Boden, *Nardus stricta*. Die Flora der Blütenpflanzen ist arm, Hundsveilchen, Katzenpfötchen und vereinzelte Hieracien, auch hin und wieder *Majanthemum bifolium*, an Wegrändern stellenweise *Thymus serpyllum* sind die häufigsten Arten denen man begegnet. Auch an Pilzen sind die Kiefernwälder nicht reich, nur der Reizker siedelt sich zuweilen reichlich in ihnen an.

Ganz anders ist die Flora des Fichtenwaldes. Die Fichte selbst ist weit weniger lichtbedürftig, als die Kiefer, sie wächst in viel dichter geschlossenem Bestand und wo sie lockerer steht, bleibt sie so tief herab beästet, daß hier dem Boden nur wenig Licht zukommt. Schattenpflanzen werden deshalb allein unter ihren Zweigen zur Entwicklung kommen, oft aber fehlen auch diese, und weite Strecken sind ausschließlich mit der Nadelstreu in dicken Schichten bedeckt. Aber diese Nadelstreu bleibt verhältnismäßig lange feucht, denn Sonne und Wind werden abgehalten, und auch die Luftschicht unter den dichten Fichtenzweigen wird langsam erneuert, so daß sie sich feuchter hält, als in den Kiefernwäldern. Der reichliche Humus, die größere Feuchtigkeit passen zur Entwicklung von Pilzen, und Fichtenwälder beherbergen daher eine große Menge von Hutpilzen, unter denen auch der bekannte Steimpilz nicht fehlt. In etwas

lichterem Bestande stellen sich auch Moose ein, aber nicht das lichtbedürftige *Leucobryum glaucum*, sondern die weichen Polster der Schlafmoose, *Hypnum*, *Hylocomium*, *Eurhynchium* und ähnliche. In diesen Moospolstern leben *Anemonen* und *Sauerklee*, die man in Kiefernwäldern vergebens suchen wird, aber auch hier ist die Flora arm an Arten. Fast ganz fehlen auch die bodenbewohnenden Flechten, die lichtbedürftigen *Cladonia*-arten, auch am Stamm finden sich nur in lichterem Bestande, besonders im Gebirge, Flechten ein. Xerophile Pflanzen fehlen ganz.



Fig. 137. Latschenvegetation im Gebirge

Ähnliche Wälder bietet auch die Edeltanne, wo sie in geschlossenem Bestande wächst; wo sie sich aber, wie im badischen Schwarzwald, durch natürliche Verjüngung vermehrt, sind die Wälder meist lichter und geben bei dem Wasserreichtum des Gebirges nicht nur einer üppigen Mooswelt Gelegenheit zur Entwicklung, sondern es bildet sich auch noch stellenweise eine Bodendecke von verschiedenen Blütenpflanzen. Mehr oder weniger ähneln diesen geschilderten Waldformen auch die anderen immergrünen Nadelwälder, wenn auch natürlich nach Standort und Klima und nach dem Charakter der waldbildenden Arten im einzelnen Verschiedenheiten auftreten.

Etwas anders verhält sich die Krummholzkiefer, wo sie in geschlossenen Beständen auftritt. Nach ihrem Vorkommen in den Alpen möchte man an-

nehmen, daß sie in den Höhenlagen über der Baumgrenze gedeiht, nach ihrem Wachstum auf Mooren, daß hier ihre eigentliche Heimat ist; beides ist durchaus nicht der Fall, denn sie kommt fast überall gut fort, wird aber auf besserem Boden von kräftigeren Bäumen verdrängt und kann sich deshalb vielfach nur an Stellen entwickeln, die von anderen Gehölzen gemieden werden. Aber sie kann auch ausgedehnte Wälder mit geraden, aufrechten Stämmen bilden, wie in den Pyrenäen, wo der Boden das gestattet. Selbst auf dem Hohloh im Schwarzwald kommen Krumholzkiefern in Beständen vor, die von den Latschenfeldern der Alpen völlig verschieden sind; hier ist sie Bewohnerin eines Hochmoores und damit auch unter ganz veränderten Bodenverhältnissen entwickelt als auf dem mageren



Fig. 138. Latschengruppe

Steinboden des Hochgebirges. Die den Kiefern im allgemeinen zukommende Pfahlwurzel kann sich im Moor besser entwickeln als in dem flachgründigen Boden des Latschengebietes, und der mehr aufrechte Wuchs, der geradere Stamm legen dafür Zeugnis ab. Noch mehr ist das der Fall in den Hochmooren der Ebene, wo die Krumholzkiefer stellenweise ebenfalls vorkommt.

Die buschige Latschenvegetation (Fig. 137 u. 138) leitet in gewissem Sinne zu den immergrünen Strauchformen über, die den Maquis der Mittelmeerländer ihr charakteristisches Gepräge aufdrücken, wenn diese auch ausschließlich aus Laubhölzern gebildet werden. Die Maquisformation ist etwas ganz Eigenartiges. Zumeist besteht sie aus immergrünen, 1 bis 2 Meter und wohl auch etwas darüber hoch werdenden dichten Büschen von Buxbaum, Myrten, Oleander und Ölbäumen, Ginster und Besenpfriemarten, denen sich noch verschiedentlich Ruscus, Cistus, Smilax und andere zugesellen. Die ohnehin dichten Gebüsche werden durch zahlreiche windende und kletternde Pflanzen, durch stachelige Rubus- und Rosaranken

zu einem fast undurchdringlichen Dickicht. Sie alle sind mehr oder weniger stark ausgeprägte Xerophyten, die an milde, feuchte Winter und regenlose oder doch sehr regenarme heiße Sommer angepaßt sind. Der Charakter der Maquis bleibt auch fast an den ganzen Mittelmeerküsten der gleiche, wenn auch in Kleinasien einzelne andere Arten auftreten als in Spanien. Charakterisiert sind sie auch durch die zahlreichen Arten mit ätherischen Ölen, besonders Lippenblütlern, durch Pflanzen mit Dornen, unter denen auch unser Schlehdorn, *Prunus spinosa*, nicht fehlt. Gerade die trockenen heißen Kalkfelsen sind von ihnen oft in viele Meilen weiter Ausdehnung überzogen; der graue Kalkstaub, der auf den ohnehin trübgrünen oder durch reichliche Haarbildung grauen Blättern liegt, läßt den Anblick der Maquis dem Auge überaus trostlos und einförmig erscheinen; die glühende Hitze, die sich in der unbewegten Luft dieser schattenlosen Dickichte im Sommer entwickelt, macht den Aufenthalt in ihnen zu dieser Jahreszeit zu einem wenig angenehmen. Aber im Frühjahr, ehe die Dürreperiode einsetzt, bedecken sich die Maquis mit reichem Blütenflor, auch zahlreiche schönblühende Arten sind darunter, *Erica arborea*, *Spartium junceum*, Oleander und verschiedene Clematisarten schmücken teils gleichzeitig, teils nacheinander den sonst so einförmigen Buschwald.

Im einzelnen verschieden, aber im allgemeinen ähnlich finden sich solche Buschwälder in vielen Teilen der Erde, wo die klimatischen Verhältnisse denen der Mittelmeerküsten ähnlich sind; nur die einzelnen Komponenten sind anders. Auch der berühmte Busch Australiens, der „Scrub“, wird aus immergrünen Sträuchern von Xerophytencharakter gebildet, die an lange Trockenperioden und wenig ausgiebige Regen gewöhnt sind. Die Blätter sind oft spärlich entwickelt, oft fehlt die Blattspreite, und der Stiel ist flächenförmig verbreitert (Phyllodien), steht aber dann so, daß die Strahlen der Mittagssonne seine schmale Kante treffen; alles an den Pflanzen des Busches ist hart, steif, trocken, so recht das trostlose dürre Klima widerspiegelnd. Akazien, Eukalyptus und Proteaceen sind die Hauptkomponenten dieser bis vier Meter hohen Gehölzformation. Der Boden ist unter ihnen oft völlig kahl, trotzdem Licht genug zu ihm dringt, denn wenn auch die einzelnen Büsche dicht verschlungen und durcheinandergewachsen sind, sie geben wenig Schatten, weil sie selbst der Sonne so wenig Fläche wie möglich aussetzen mögen. Aber die trostlose Dürre, die auch nicht einmal durch regelmäßig eintretende Regenzeiten unterbrochen wird, ist den niedrigen Pflanzen mit ihren wenig tiefreichenden Wurzeln ungünstig. Oft herrschen mehrere Jahre dauernde Dürreperioden, welche einjährige Pflanzen oder Arten, die an ein bestimmtes Eintreten der Vegetationszeit gebunden sind, nicht überstehen können.

Eigenartige Buschformationen werden auch von manchen Palmen gebildet, so schon im Mittelmeergebiet von *Chamaerops humilis*, der Zwergpalme, deren kurzer Stamm wenig über die Erde hervorragt und ein Büschel fächerförmiger Blätter trägt. Wo sich die Zwergpalme ausbreitet, bildet sie zuweilen dicht zusammenhängende Buschformation, die den Boden so beschatten, daß andere Pflanzen zwischen ihnen kaum zur Entwicklung kommen.

Alle diese Buschformen sind Miniaturwälder; die Latschen des Hochgebirges werden durch die Armut des Bodens und die Unwirtlichkeit des Standortes nieder-

gehalten, und verlieren sich, wie das zuweilen vorkommt, Fichten in diese Region, so nehmen auch sie einen abenteuerlichen verkrüppelten Wuchs an. Kommt die Latsche dagegen auf tiefgründigen Boden und in milderem Klima, so vermag sie sich sehr wohl baumartig zu entwickeln. Sie stellt also einen Typus dar, welcher je nach den äußeren Verhältnissen als Busch oder Baum auftreten kann. Auch in den Maquis und den anderen Buschformen können einzelne Arten an bevorzugten Standorten noch baumartig sich entwickeln, während sie an ungünstigen, immer niedriger werden und die Buschwälder schließlich in Steppen oder Wüsten übergehen.

Den geraden Gegensatz zu dieser verkümmerten Waldformation bilden die immergrünen tropischen und subtropischen Regenwälder, deren schon in früheren Abschnitten gedacht wurde. Sie sind gegenüber den bisher besprochenen Waldformen durch einen außergewöhnlichen Artenreichtum ausgezeichnet, während die Zahl der Individuen einer Art oft so sehr zurücktritt, daß man von einem Standpunkt aus oft nicht zwei zugleich erblicken kann. Dann prägt ihnen die Masse der, wenn man so sagen will, accessorischen Pflanzen, der Epiphyten, Lianen und, wo genug Licht vorhanden ist, der busch- und krautartigen Bodenvegetation, die bis aufs äußerste durchgeführte Ausnutzung von Raum und Licht den typischen Charakter auf. Die eigentlichen Bäume mancher Regenwälder sind keine Xerophyten, sie leben ja in einem Wasserreichtum, daß ihnen ein Sparen damit nicht nötig ist, wohl aber tragen sie vielfach in ihren Wipfeln xerophyle Epiphyten. Aber da, wo die Verdunstung besonders in den Vormittagsstunden durch die Gluthitze eine zu große wird, und das ist in vielen Gebieten des tropischen Regenwaldes trotz des enormen Wasserreichtums der Fall, zeigen auch die Blätter Schutzeinrichtungen; man findet deshalb besonders stark glänzende lederartige Blätter am häufigsten vertreten, während den tiefer im Schatten wachsenden, niedrigeren Formen solche Einrichtungen fehlen.

Tropische Regenwälder kommen in allen Weltteilen vor, die die heiße Zone berühren, und tragen überall eine verschiedene Zusammensetzung; ja selbst benachbarte Gebiete können ganz verschiedene Floren beherbergen. Die Zahl der in ihnen vertretenen Arten, Gattungen und Familien ist eine ungemein große und je nach der Lage oft einem raschen Wechsel unterworfen, so daß eine Besprechung der Flora eines dieser Wälder schon nicht mehr auf den Nachbarwald passen würde.

Verhältnismäßig unbedeutend ist der subtropische immergrüne Laubwald entwickelt, so die Lauraceenwälder der Canaren. Aber selbst in dem merkwürdigen, gleichmäßig kühlen Klima der Südspitze von Amerika bis zum Feuerland, das durch seine reichlichen Niederschlagsmengen, aber auch durch seine häufigen Stürme ausgezeichnet ist, kommt es noch zur Entwicklung eines immergrünen Regenwaldes. Kleinblättrige, nicht laubabwerfende Buchenformen bilden den Hauptbestandteil der insekten- und vogelarmen, vom Sturm gepeitschten, durch ihre eintönige Farbe ausgezeichneten Formation.

Ebenso verschieden zeigen sich die Wälder mit periodischem Laubabfall, von denen man wieder zwei verschiedene Gruppen unterscheiden kann: sommerkahle und winterkahle Wälder; die ersteren werfen mit Beginn der größten

Hitze und Trockenheit ihr Laub ab und sind also, da sie sich mit Beginn der kühleren und feuchteren Jahreszeit belauben, nur in den warmen Zonen zu suchen, die letzteren verlieren ihr Laub mit Eintritt des Winters und gehören vornehmlich den gemäßigten und kälteren Gegenden an.

Die Bäume der sommerkahlen Wälder der warmen Gebiete sind durch die Trockenheit zum Laubabfall gezwungen. Meist erreichen die Holzgewächse keine bedeutende Höhe, sondern bilden einen niedrigen und natürlich auch sehr lichten Wald, wie die bereits erwähnten Caatingas in Brasilien. Dabei treten riesige Dickendimensionen unter den Baumstämmen auf, so bei *Chorisia ventricosa* und *crispifolia*, bei denen der Stamm ein fast tonnenartiges Aussehen erhält und als einziger mächtiger Wasserspeicher während der trockenen Jahreszeit dient, andere wieder, wie *Spondius tuberosa*, bilden Wurzelschwellungen als Wasserbehälter aus. Zahlreich sind auch die Stammsukkulenten, besonders Kakteen, unter denen säulenförmige *Cereus*-arten eine beträchtliche Höhe erreichen können. Was an Pflanzen seine Blätter bewahrt, bildet sie xerophyll aus, lederartig, klein, steif und derb, oft dicht weißhaarig, meist sind es aber nur Büsche oder die kleineren Baumformen. Mit Beginn der Regenzeit belaubt sich der Wald wie mit einem Zauberschlage und wird in wenigen Tagen grün, dagegen fällt die Blüte vieler Arten in die trockene, laublose Zeit.

Diesen brasilischen Caatingas schließen sich in fast allen Ländern der heißen trockenen Gebiete ähnliche Bildungen an, auch die teils in Steppe, teils in Wüste übergehenden Buschwälder Ostafrikas, die reich an dornigen Sträuchern und verschiedenartigen Schlingpflanzen sind; selbst vereinzelte Epiphyten sind vorhanden, wie überhaupt die Artzahl der den Busch zusammensetzenden Flora eine recht bedeutende zu sein scheint. Auch da sind, je nach der Bodenfeuchtigkeit, große Verschiedenheiten vorhanden. Stellenweise ist der Busch so dicht, daß er ganz undurchdringlich ist und dann auch kaum krautartige Pflanzen oder Gräser unter dem Gestrüpp wachsen; an anderen Stellen läßt er wieder offene, mit Gras und zahlreichen Blütenpflanzen bedeckte Strecken zwischen sich frei. Je größer diese Unterbrechungen werden, je vereinzelter die Büsche werden, desto mehr geht der Buschwald in Steppenwald über, aus dem schließlich, je nach dem Grad der vorhandenen Feuchtigkeit, niedrige Buschsteppen oder fast vegetationslose Wüsten werden.

Bei den zu Beginn der kalten Jahreszeit ihr Laub abwerfenden Wäldern kann man wieder zwischen Nadel- und Laubhölzern unterscheiden. Die ersteren sind fast ausschließlich Lärchen, denn die andern sommergrünen Arten kommen als waldbildend kaum in Betracht; die Lärchen aber bedecken ein ausgedehntes Gebiet, da sie auf der nördlichen Halbkugel weiter nach den kalten Zonen vordringen als irgendein anderer Baum, und auch im Hochgebirge bis in die Latschenregion hineinreichen. Die Lärche ist auch durch ihren Nadelabfall im Herbst hervorragend befähigt, die trockene Luft strenger Winter zu ertragen und auch bei der wenig verdunstenden Fläche der kleinen Nadeln im Sommer ohne Gefahr längere Trockenperioden durchzumachen. Sie ist ein vollständig an kontinentales Klima angepaßter Baum, und ihre ausgebreitetste Entwicklung findet

sie daher auch in der größten kompakten Landmasse der Erde, in Nordasien, selbst in dem kältesten Teil der Erde, um den sibirischen Kältepol herum.

Alle Lärchen sind lichtbedürftige, locker gestellte Waldbäume, die wie die Kiefer noch viel Licht zum Boden gelangen lassen, aber im Gegensatz zu dieser mehr auf fruchtbarem Boden gedeihen. Deshalb ist auch in den lichten Lärchenwäldern gewöhnlich eine reiche Vegetation am Boden entwickelt, und der Lärchenstamm selbst ist von oben bis unten mit verschiedenartigen Flechten bedeckt. Es gibt bei uns kaum einen andern Waldbaum, der so dicht mit allerlei Arten von Strauchflechten bedeckt wäre. Die Bodenflora selbst ist nun allerdings nach dem Standort der Lärche sehr verschieden, in den Alpenwäldern ist sie natürlich eine ganz andere als in Sibirien, stets sind es aber lichtliebende Pflanzen, während die Schattenpflanzen ganz fehlen.

Von den sommergrünen Laubwäldern der gemäßigten und kalten Zone gibt es natürlich ebenfalls recht verschiedene Formen; in reinen Beständen treten bei uns hauptsächlich Eiche, Buche und Birke, stellenweise und nur infolge von Anpflanzung auch gelegentlich andere Holzarten, Esche, Rüster u. a. auf. Wo aber, wie in den Auen der Flußniederungen, reichliche Feuchtigkeit in Verbindung mit meist fruchtbarem, tiefgründigem Boden vorhanden ist, ist der Waldbestand ein gemischter, Ahorn, Rüster, Heimbuche, Eiche, Esche, Pappeln wachsen bunt durcheinander und je nach den Verhältnissen überwiegt bald die eine, bald die andere Baumart.

Die drei angeführten, bei uns geschlossene Bestände bildenden Baumarten haben aber ganz verschiedene Eigenschaften, und deshalb ist auch die in ihrer Gemeinschaft sich entwickelnde Flora eine ganz verschiedene. Die Buche speziell ist ein ausgesprochener Schattenbaum, sie ist sehr dicht belaubt und vermag auch noch geringe Mengen Licht auszunutzen, weshalb auch noch tiefstehende Äste Blätter tragen. Buchenwald ist sehr schattig, und es dringt sehr wenig Licht bis zum Boden, auf dem daher eine Entwicklung von Pflanzen ganz fehlt. Was sich hier entwickelt, muß früh blühen und fruchten, möglichst ehe sich das Buchenlaub entwickelt, und wir sehen deshalb im geschlossenen Buchenwalde auch fast ausschließlich eine Frühjahrsflora, *Primula elatior* an feuchteren Stellen, *Oxalis acetosella*, *Anemone nemorosa* und besonders Waldmeister, *Asperula odorata*, der eigentlich als Charakterpflanze des Buchenwaldes anzusprechen ist. Häufig ist auch die schmalblättrige *Stellaria nemorum*, von Gräsern besonders *Milium effusum* und die nicht überall vorkommende *Melica uniflora*, die aber stellenweise, so in der Nähe der Wartburg oft ganze Wiesen unter dem Walde bildet. Im äußersten Südosten tritt dann noch eine ganz andere zierliche Frühjahrsflora hinzu: *Dentaria glandulosa* und *Isopyrum thalicroides*, dessen Blüten an kleine Anemonen erinnern, aber zu mehreren zusammenstehen. Ist das Buchenlaub erst entwickelt, so sterben die meisten Pflanzen der Bodenvegetation aus Lichtmangel ab, sie müssen also ihre Entwicklung in den wenigen Wochen vom ersten Erwachen des Frühlings bis zur vollen Entfaltung des Buchenlaubes beendet haben. Deshalb fehlt den Buchenwäldern auch das Unterholz vollkommen; kein Strauch oder Busch hindert das Durchschreiten der weiten

schattigen Hallen eines Buchenhochwaldes, der unwillkürlich an die gotischen Säulengänge eines Domes erinnert, und in der Tat paßt die im Volks- und Dichtermund so viel gebrauchte Bezeichnung „Waldesdom“ eigentlich nur ganz auf den Buchenwald (Tafel 6).

Die eben beschriebene Form des Buchenwaldes entwickelt sich aber nur auf gutem von Rohhumusbildung freiem Boden. Wo sich im Buchenwald Rohhumus findet, wird der Waldbestand bald weniger geschlossen, die Bäume werden knorriger, weniger gleichmäßig bestockt und belaubt, der Boden ist deshalb mehr beleuchtet und trägt deshalb auch mehr Pflanzen; besonders auch Moose, wie *Polytrichum formosum*, *gracile* u. a., an besonders lichten Stellen auch das sonst im lichten Kiefernwalde heimische *Leucobryum glaucum*, die dem geschlossenen Buchenwald auf rohhumusfreiem Boden vollkommen fehlen. Je mehr sich die Rohhumusbildung entwickelt, desto mehr nimmt der Buchenwald Heidecharakter an; es treten die verschiedenen *Vaccinium*-arten, besonders die Blaubeere (*Vaccinium*), auch die eigentliche Heide (*Calluna vulgaris*) auf, und schließlich wird die Buche ganz durch Heidevegetation verdrängt.

Übrigens gibt die Buche einen Platz, den sie einmal in Besitz genommen hat, nicht so bald wieder her, im Gegenteil, sie verdrängt die meisten andern Bäume aus ihrer Nachbarschaft. Das liegt daran, daß sie im allgemeinen schnellwüchsig ist und andere Pflanzen durch ihren großen Schattenreichtum unterdrückt; der eigene Nachswuchs „Aufschlag“ aber gedeiht ganz gut und vermag sich auch im Schatten anderer Bäume noch zu entwickeln, besser als die Nachkommen dieser. Daher wird oft schon in der folgenden Generation die Buche vielfach die Oberhand gewinnen, und das ist wohl sicher einer der Gründe mit, weshalb sie im Kampf mit der Eiche fast überall Sieger bleibt.

Die Eiche, von der in Deutschland zwei waldbildende Arten heimisch sind, hat früher jedenfalls sehr viel umfangreichere Wälder in Deutschland gebildet, als in der Gegenwart. Aber die Eiche ist im allgemeinen weniger ungeduldig gegen andere Arten als die Buche, selten bildet sie geschlossene Bestände ohne zwischenwachsende Bäume von Ulmen, Ahorn, Hainbuchen oder Linden, sondern diese Gehölzarten treten mehr oder weniger reichlich neben der Eiche auf. Unter den mächtigen sparrigen Eichenkronen kommt es zur Entwicklung einer dichten Unterholzvegetation, allerlei Büsche, *Prunus spinosa*, *Pr. Padus*, *Cornus sanguinea*, *Rhamnus Frangula* und viele andere bilden oft dicht zusammenhängendes Gestrüpp, und wo dieses den Boden freiläßt, finden sich süße Gräser und allerlei Blütenpflanzen ein. Die Eichenkronen sind zwar auch meist ziemlich dicht belaubt, die Verzweigung aber ist so unregelmäßig sparrig, daß zwischen den einzelnen, ohnehin meist weiter auseinanderstehenden Bäumen Lücken genug bleiben, um dem Boden hinreichend Licht zukommen zu lassen. Deshalb die viel reichere Bodenflora, deshalb auch die Entwicklung verschiedener anderer Baumgestalten im Eichenwalde. Selten sind, wie erwähnt, ganz reine Eichenwälder, in denen andere Holzarten oder wenigstens Bäume fehlen; sie finden sich beispielsweise im oberen Odertal in der Gegend von Ratibor. Noch seltener sind so dicht geschlossene Eichenwälder, daß der Unter-



Buchenwald mit deutlich etagenförmiger Stellung der unteren Äste zur möglichsten
Ausnutzung des Lichtes





Freistehende Birkengruppe mit verhältnismäßig dichter Belaubung



wuchs fehlt, sogar fast jede Bodenflora, wie dies in dem Walde am Jungferensee zwischen Ohlau und Breslau in der Oderniederung der Fall ist.

Die Birke ist im Gegensatz zur Buche ein ausgesprochener Lichtbaum, sie verträgt gar keine Beschattung, und ihre Krone liefert auch wenig Schatten; die Bäume stehen im Birkenwalde meist weit auseinander, so daß hinreichend Licht auf den Boden gelangt, um selbst sehr lichtbedürftige Pflanzen noch zu befriedigen. Die Birke gleicht in dieser Hinsicht der Kiefer, mit der sie auch oft vergesellschaftet ist, und mit der sie auch oft die gleichen Begleitpflanzen besitzt. Lichtbedürftige Flechten, besonders Cladonien, an feuchteren Stellen Gräser der verschiedensten Art, je nach den Bodenverhältnissen, an trockenen *Sarothamnus scoparius*, *Vaccinium Myrtillus* und *Callunabüsche*, bilden die Begleiter, und ebenso wie bei der Kiefer, läuft auch der lichte Birkenwald an trockenen Stellen oft in Heide, an feuchten in Moor aus. (Tafel 7.)

Die Birke liebt zwar fruchtbareren Boden, hier wird sie aber durch die schattengebenden Baumarten verdrängt, die ihr auf mageren Sandboden nicht zu folgen vermögen. Deshalb trifft man Birkenwald fast ausschließlich auf armem trockenem Boden an und damit natürlich auch die Flora, die solchen Böden eigen ist. Arm ist die Frühjahrsflora; vergebens wird man im Birkenwald nach den Pflanzen suchen, die den humusreichen Boden des Buchenwaldes im April zieren. Bei der Genügsamkeit der Birke und ihrer Anpassungsfähigkeit selbst an sehr verschiedene Standorte wird aber freilich die begleitende Flora recht verschiedenartig sein. Denn die Birke kommt auch noch auf Hochmooren fort, und zwar ist sie hier neben der Kiefer und Krummholzkiefer der einzige Baum, der sich neben kriechenden Weidengebüchen noch entwickelt; die Flora des Hochmoores ist dann natürlich ganz verschieden von der der trockenen sandigen Birkenwälder. Auch das Verbreitungsgebiet der Birke ist ein sehr großes, sie geht vor allen Dingen weiter als irgendein anderes Laubholz nach Norden hinauf und kommt, wenn auch in krüppelhafter zwergartiger Form in Gegenden vor, in denen selbst die winterharte Lärche verschwunden ist. Daß die Begleitpflanzen hier andere geworden sein werden, ist selbstverständlich.

Außer diesen drei charakteristischen Formen unserer Laubwälder kommen, wie schon erwähnt, auch noch vereinzelt andere Laubhölzer waldbildend vor, doch treten sie so sehr zurück, daß sie keine besondere Behandlung beanspruchen können. Auf die eigenartigen Mischwälder der Flußauen wurde bereits hingewiesen; sie zeichnen sich neben den oben genannten bestandbildenden Arten noch besonders durch die zahlreichen eingestreuten wilden Apfel- und Birnbäume und die vielen Weidenarten in der unmittelbaren Nähe des Wassers aus. Dagegen fehlen Nadelbäume fast gänzlich und kommen angebaut nur an besonders geeigneten, trockneren Stellen fort.

Neben diesen waldbildenden Arten kommen nun eine ganze Anzahl mehr oder minder hohe Bäume vor, die zwar sehr verbreitet sind, aber niemals geschlossene oder lockere Bestände bilden, so wilde Kirschbäume, *Prunus Padus*, die verschiedenen Sorbusarten u. a. Selbst die zahlreichen Weiden kommen mehr als Umsäumung der Ufer als wie waldbildend vor. Dagegen muß noch zweier Baum-

gestalten gedacht werden, die zwar nicht eigentlich waldbildend auftreten, aber doch das Bild einer Gegend sehr wesentlich beeinflussen können. In den deutschen Alpen tritt der Bergahorn oft in fast waldartigen Gruppen auf und drückt dem Laubwalde der Gebirgstäler seinen Charakter auf. Zwischen den großen schön geformten Blättern leuchten die verhältnismäßig hellrindigen, aber mit großen dunklen Moospolstern vielfach bewachsenen Stämme und Äste hervor und der ganze Baum kleidet sich im Herbst in leuchtendes Gold. Kein Laubholz der Vor-alpen wirkt so malerisch und imposant wie der Bergahorn. (Tafel 8.)

In den Dörfern der Ebene und des Hügellandes spielt die Linde eine Hauptrolle und hat sie auch schon bei unsern Vorfahren gespielt. Deshalb finden wir gerade die Linde so oft in uralten und schönen, mächtigen Stämmen in und um Landstädtchen und Dörfer, teils prachtvoll und ebenmäßig gewachsen, teils zwar von mächtigem Umfang, aber bereits vom Alter, von Stürmen und Unwettern mitgenommen und oft zu Ruinen zusammengesunken. So hatte eine alte Linde auf dem Friedhof in Pohlom (O.-Schlesien) einen Umfang von 8, eine zweite von $7\frac{1}{2}$ m, aber der Stamm war zerfallen und nur einige stärkere Äste zeigten noch frisches Leben. (Tafel 9.)

Nicht viel anders als die drei verschiedenen Laubwäldertypen Deutschlands verhalten sich die sommergrünen Laubwälder anderer Gebiete; wohl tritt ein Wechsel der Arten und Gattungen ein und damit zahlreiche kleinere Unterschiede, aber der Charakter des Ganzen bleibt doch annähernd erhalten. Zu erwähnen sind aber noch einige eigentümliche waldartige Bildungen, die sich keiner der bisher geschilderten Formen anschließen.

Da sind zunächst die merkwürdigen, wie große Kandelaberbäume aussehenden Casuarinen zu erwähnen, die an trockenen regenarmen Stellen der Sundainseln stellenweise zu Wäldern zusammentreten; sie sind so gut wie blattlos, und die Sprosse erinnern etwas an Schachtelhalme. Ferner kommt es in den zentralasiatischen Salzsteppen stellenweise zu einer eigentümlichen niedrigen Waldformation aus einer 5–6 m hoch werdenden Chenopodiacee (Haloxylon Ammodendron), die Zweige ähnlich der in Fig. 128 abgebildeten Salicornia mit unscheinbaren Schuppenblättern besitzt. Daneben kommen nur sehr wenig ähnliche Pflanzen vor. Selten bilden die zahlreichen Palmenarten eigentliche Wälder, sie kommen mehr zerstreut und eingesprengt zwischen andern Bäumen der tropischen Regenwälder vor. Was man mit Bezug auf die Dattelpalme poetisch als „Palmenhaine“ der Araber bezeichnet, sind doch nur wenige, höchstens — und das ist schon sehr selten — einige Hundert zerstreut stehende Stämme. Nur in Südamerika überwiegen in einigen Wäldern Palmenarten so, daß man mit einigem Recht von Palmenwäldern sprechen kann. Ferner sind die eigenartigen Bambuswälder zu erwähnen, die besonders an sumpfigen Stellen der tropischen Flußniederungen vorkommen. Diese riesigen Grasformen bilden oft fast undurchdringliche, viele Meter hohe Dickichte, die wegen der dicht nebeneinander aufstrebenden arm- bis beindicken Schäfte des Bambusrohres jeden Eintritt ohne Beil verwehren.



Bergahorngruppe bei Berchtesgaden



III. KAPITEL

Die Grasvegetationen

Fast ebenso mannigfaltig wie die Waldbildungen sind die verschiedenen Formationen, in denen die Gräser eine herrschende Rolle spielen, mögen sie nun Wiesen, Matten, Steppen, Prärien, Campos, Llanos oder Savannen genannt werden. Alle sind charakterisiert durch das Vorwiegen von Gräsern oder Scheingräsern, denen allerdings zahlreiche andere niedrige Blütenpflanzen beigemischt sind.

Unsere heimischen Wiesen sind freilich auch zumeist Kulturprodukte, entstanden durch fortgesetzte gründliche Entfernung aller Holzgewächse, die dort



Fig. 139. Blühende Wiese

wuchsen oder Neigung zeigen, sich dort zu entwickeln. Sich selbst überlassen würden sie sehr bald sich mit Büschen bedecken und allmählich in Wald übergehen. Denn das Klima mit seinen noch ziemlich bedeutenden Niederschlägen und nicht allzu trockenkalten Wintern begünstigt bei uns den Wald gegenüber der Grasvegetation.

Aber trotzdem bieten die Wiesen ein eigenartiges Gesellschaftsbild der Pflanzen, besonders durch die überaus dichte Besiedelung des Bodens, so daß von diesem auch nicht die Fläche eines Quadratmillimeters unbenutzt bleibt. Auf schlechtem Boden freilich stehen die Pflanzen lockerer und gehören auch andern Arten an; guter feuchter Lehmboden wird hauptsächlich die sogenannten „süßen Gräser“ — echte Gräser —, trockener sandiger oder stark sumpfiger Boden, die als „saure Gräser“ bezeichneten Cyperaceen tragen. Auch die zwischen beiden lebenden Blütenpflanzen sind ganz verschieden. Auf guten Wiesen tritt ein Heer buntblühender krautiger Pflanzen zwischen den Gräsern auf, Glockenblumen, Hahnenfuß und Kuckuckslichtnelken voran, dazwischen Kleearten, oft *Orchis latifolia* und *maculata*, späterhin vereinzelt Umbelliferen. *Ajuga reptans* blickt an etwas trockeneren Stellen durch die hier lichter und niedrigen Grasblätter und

vielleicht kriecht auch das Pfennigkraut, *Lysimachia nummularia* mit seinen flachen gelben Blüten irgendwo am Boden umher. Steigt die Wiese an, so blühen am oberen Ende noch Weißklee, *Silene nutans* und *Cerastium*arten, überhaupt ist die Mannigfaltigkeit und Abwechslung unter den Blütenpflanzen eine beträchtliche. (Fig. 139.) Sie verschwinden aber, sowie die Wiese sauren Charakter annimmt und vorzugsweise Cyperaceen trägt; hier wird die Flora überhaupt arm, Sumpfmoose aller Art, auf nährstoffarmen Boden auch Torfmoose, treten zwischen den Scheingräsern auf, und das frische Grün einer guten Wiese macht dem stumpfen Graugrün Platz, das fast allen Cyperaceen und besonders deren Hauptvertretern, den *Carex*arten, eigen ist. Die süßen Gräser unserer Wiesen, *Anthoxanthum odoratum*, *Phleum pratense*, *Alopecurus pratensis*, *Briza media*, Arten der Gattungen *Agrostis*, *Poa*, *Festuca* wird man zwischen den Cyperaceen gar nicht oder nur in kümmerlichen Exemplaren finden.

Die meisten Pflanzen, welche wiesenbildend auftreten, sind mehrjährig, besonders auch die Gräser, viele von ihnen bilden kriechende Wurzelstöcke, wie manche Arten von *Poa* (*Poa pratensis*), *Festuca*, *Agrostis*. Bei allen Wiesen tritt im Winter, also durch niedrigere Temperatur bedingt, eine Ruheperiode ein, während der ganzen wärmeren Jahreszeit vom Frühling bis zum Herbst ist die Vegetation in der Entwicklung begriffen.

Was man in den Alpen als Matten bezeichnet, sind eigentlich auch nur Wiesen, deren Pflanzen jedoch einen viel niederen Wuchs besitzen; auch in ihnen bilden Gräser, zuweilen auch Scheingräser, vielfach die herrschenden Geschlechter, dazwischen treten aber die zahlreichen zum Teil schönblühenden Alpenkräuter auf, verschiedene *Gentiana*arten, Frauenmantel, *Soldanella*, Primeln, *Potentilla* und viele andere, zuweilen auch niedrige Büsche, besonders *Salix*arten mit kriechenden Stämmchen, *Salix herbacea*, *retusa*, *reticulata*. Auch in den Alpenmatten sind ähnliche Unterschiede vorhanden, wie bei den Wiesen, je nach Trockenheit oder Feuchtigkeit, sterilem oder fruchtbarem Boden wechselt die Zusammensetzung der Flora beträchtlich, immer aber ist der niedrige Wuchs charakteristisch.

Wenn man das Inntal bei Samaden im Oberengadin durchwandert, etwa nach der Muotas Muraigl zu, geht man halbstundenlang durch eine Wiesenflur, die sich von den Wiesen des Tieflandes nur durch die größere Dichtigkeit der Gräser und durch den niedrigeren Wuchs aller Pflanzen unterscheidet. Wir werden nicht anstehen, sie auch mit dem Wort „Wiese“ zu bezeichnen, aber sie bilden ein Bindeglied zwischen den Alpenmatten und den Wiesen der Ebene. Mit letzteren haben sie das ausgesprochene Vorherrschen der Gräser, die Gleichförmigkeit in der Zusammensetzung und die frischgrüne Farbe, mit ersteren den niedrigen geschlosseneren Wuchs gemein; eine strenge Grenze ist jedenfalls zwischen Matten und Wiesen nicht vorhanden.

Andrerseits gehen die Wiesen auch wieder in Weiden über, wenn die Bodenfeuchtigkeit abnimmt und infolgedessen die Vegetation so niedrig bleibt, daß nur ein Abweiden durch Vieh, kein Abmähen möglich ist. Auch sie sind, wie die meisten Wiesen, Kulturprodukte und deshalb hauptsächlich nur in bewohnten Gegenden zu finden. Ihre Zusammensetzung ist natürlich ebenso verschieden, wie die



Die alte Linde auf dem Dilsberg am Neckar



der Wiesen und von den verschiedensten Faktoren abhängig, nur fehlen ihnen durchweg die besonders Feuchtigkeit liebenden Arten, und dafür treten andere auf, die größere Trockenheit vertragen können. Der Einfluß des Bodens macht sich ebenfalls geltend; auf magerem Sande stehen die Individuen lockerer, und die Cyperaceen, aber auch einzelne Gräser wie *Nardus stricta*, stellenweise auch *Sesleria caerulea*, treten in den Vordergrund. Auf fruchtbarem, wenn auch trockenerem Boden sind *Festuca rubra*, *Poa pratensis*, *Anthoxanthum odoratum*, *Agrostis vulgaris* und ähnliche vorherrschend, also Arten, die auch auf den Wiesen vorkommen. Wiesen und Matten werden oft nicht gemäht, sondern abgeweidet, und nehmen dann äußerlich den Charakter von Weiden an, ohne aber nach den Feuchtigkeitsverhältnissen des Bodens hierzu zu gehören.



Fig. 140. Farnwiese

Auf solchen Weiden stellt sich nun mitunter eine Vegetation ein, die dem Besitzer durchaus unerwünscht ist, weil die Pflanzen von dem Weidevieh verschmäht werden, aber gerade deshalb sich so reichlich entwickeln. So bedeckt der Adlerfarn beispielsweise um Oberstdorf im Allgäu weite Flächen in so gedrängtem Wuchs, daß man fast von „Farnwiesen“ sprechen könnte (Fig. 140). Oft sind Flächen von vielen Hektaren zusammenhängend so dicht von dem Adlerfarn besiedelt, daß die Grasvegetation so gut wie vollständig verschwunden ist.

Ganz verschieden von unsern Matten, Wiesen und Weiden ist aber die Steppe. In ihrer typischen Form ist sie ebenfalls der Hauptsache nach eine Grasvegetation und wird dann auch als Grassteppe im engeren Sinne bezeichnet. Diese entwickelt sich nur auf sehr fruchtbarem, nährstoffreichem Boden im Gegensatz zur Heide, die eine Vegetationsform des magersten Bodens ist. Neben Fruchtbarkeit des Bodens kommen noch bestimmte klimatische Verhältnisse hinzu, die für die

Entstehung der Steppe Bedingung sind: lange kalte, oft von heftigen Stürmen begleitete Winter, spätes, feuchtes und warmes Frühjahr, heiße trockene, oft fast regenlose Sommer. Das sind klimatische Verhältnisse, die direkt baumfeindlich sind, und deshalb ist die eigentliche Steppe baumlos, nur an den Flußläufen mit Gebüsch und niedrigen Bäumen bestanden. Steppe bezeichnet auch in Rußland die baumlosen oder doch baumarmen Gebiete; auch die ungarische Pusta, die Prärien Nordamerikas sind echte Steppen, und selbst die Pampas des südlichen Südamerikas schließen sich hier an.

Geht man von dem Typus der Steppe aus, wie er sich im südlichen Rußland auf der berühmten „schwarzen Erde“ findet, so zeigt sich, daß alle Pflanzen derselben durchaus xerophile Eigenschaften haben oder doch an ein Klima mit langer Trockenzeit und nur kurzer Vegetationsperiode angepaßt sind, die weitaus meisten sind mehrjährig, aber nur in ihren unterirdischen Teilen ausdauernd, während die oberirdischen nach der kurzen Vegetationszeit vertrocknen. Knollen- und Zwiebelgewächse, hohe Stauden mit tiefgehenden Pfahlwurzeln und die in den guten Steppen vorherrschenden, rasenbildenden mehrjährigen Gräser machen im Sommer und Winter eine fast dreivierteljährige Ruheperiode durch und sind nur von Anfang April bis Ende Juni, die Stauden manchmal noch bis zum August in Entwicklung begriffen. Dann mit dem Verschwinden der Bodenfeuchtigkeit und dem Aufhören der Niederschläge erlischt auch das Leben in der Steppe, sie nimmt ein eintöniges fahles Braungelb an, und nichts erinnert an den reichen Blütenflor, besonders der zahlreichen Zwiebelgewächse, der sie im Frühjahr schmückt. Unter diesen sind besonders Arten von *Allium*, *Fritillaria*, *Scilla* *Tulipa*, *Crocus*, *Iris* häufig, unter den Stauden Kreuzblütler, Lippenblütler, Compositen, besonders zahlreiche Arten der Gattung *Artemisia*, dann aber die geradezu für die Steppen charakteristischen riesigen Doldenpflanzen, unter denen wieder die mehrere Meter hoch werdenden *Heracleum*-arten am meisten hervortreten. Die Zahl der Gräser ist zwar eine ziemlich bedeutende, aber doch überwiegen gewöhnlich einzelne Arten sehr beträchtlich, besonders *Festuca ovina*, *Koeleria cristata*, *Stipa pennata* und *capillata*, letztere Arten schon mehr auf weniger fruchtbarem Boden. Hier entwickeln sich auch die merkwürdigen Pflanzen, die nach der Fruchtreife durch den Wind vom Boden abgerissen werden und sich zu oft riesigen Ballen von eigentümlichsten Formen verfilzen; als Steppenhexen werden sie vom Sturme oft sprunghaft fortgejagt, immerfort ihre Gestalt ändernd, sich bald zusammenhäufend, bald in kleinere Ballen zerfallend. Hauptsächlich ist es *Plantago cretica*, dem sich *Gypsophila panniculata*, *Rapistrum perenne* und einige andere Arten anschließen. Ganz ähnliche Verhältnisse bietet die ungarische Pusta, die teilweise, besonders hinsichtlich der Gräser sogar dieselben Arten aufweist als die russische Steppe. Gerade die *Stipa*-Arten sind besonders charakteristische Steppengräser.

Daß aber in den Steppen ebenfalls Verschiedenheiten vorkommen, ist selbstverständlich, denn Bodenbeschaffenheit und Klima sind ja auch hier nicht gleich und wechseln beständig. Je weiter nach Osten, desto dürftiger wird im allgemeinen die Vegetation der Steppe, denn das Klima wird immer weniger günstig, die Winter

kälter und länger, die Sommer heißer und trockener und die feuchten Frühlinge immer kürzer. Die vorderasiatischen Steppen haben oft nur noch eine Vegetationszeit von wenigen Wochen. Freilich bieten diese Woche auch alle Lebensbedingungen in günstigster Weise, Feuchtigkeit und Wärme im Überfluß, und die Schnelligkeit des Wachstums ist daher eine ganz überraschende. Der erste warme Frühjahrsregen zaubert in wenigen Tagen eine Vegetation hervor, wie sie in unserm langsam eintretenden Frühjahr erst in vielen Wochen zustande kommt. Dann freilich, zu einer Zeit, wo sich die Vegetation bei uns am üppigsten entfaltet, stirbt sie in den Steppen schon ab, um erst im nächsten Frühjahr wieder zu erwachen. Nur in einigen Steppen kommt es noch einmal im Herbst zu einer kurzen Vegetation, wenn feuchtere Witterung eintritt; aber nicht die Gräser und der zarte Flor der Frühjahrsblumen, sondern graugrüne Salzpflanzen, Chenopodiaceen und sparrige Beifußgewächse erwachen jetzt zu kurzem Leben. Diese zweite, unbedeutendere Vegetation erlischt mit dem Eintritt des Winters, während die erste eigentliche Vegetation mit dem Eintritt des Sommers verschwindet.

So kommt es also in manchen Steppen zu zwei Vegetationen- und zwei Ruheperioden, von denen die ersteren stets durch Feuchtigkeit, die letzteren nur zum Teil durch den Winter, hauptsächlich aber durch Trockenheit herbeigeführt werden. Vielfach, namentlich in den südlicheren Steppen fehlt aber die herbstliche Feuchtigkeit ganz, und der heiße trockene Sommer geht ohne Unterbrechung in den vegetationslosen kalten Winter über. Im Gegensatz zu den Wiesen wird also in den Steppen nicht der Winter, sondern die Trockenheit des Sommers die Vegetationsruhe herbeiführen.

Den osteuropäischen Steppen schließen sich die nordamerikanischen Prärien als vollkommen gleichwertig an. Auch sie sind ausgesprochene Grasfluren, ausgedehnte, ebene oder stellenweise leicht wellige Flächen, denen infolge heißer trockener, im Spätsommer und Herbst fast völlig regenloser Zeitperioden und kalter langer Winter der Baumwuchs völlig fehlt; die Luftfeuchtigkeit ist im Sommer und Winter sehr gering und nur für Pflanzen geeignet, deren oberirdische Teile absterben, also für Gräser und die in ihrer Gemeinschaft wachsenden Steppepflanzen. Die Arten sind freilich nicht dieselben, wie in den osteuropäischen Steppen, aber der Charakter der Gesamtheit bleibt gewahrt. Auch hier zeigen sich Unterschiede, die namentlich durch die Luftfeuchtigkeit und die Menge der Niederschläge bedingt wird. Im Osten grenzen die nordamerikanischen Prärien an das atlantische Waldgebiet mit seinen bedeutenden Regenmengen und seiner beträchtlichen Luftfeuchtigkeit; gerade die Periode der Sommerregen zeichnet ja dieses Gebiet aus. Die klimatischen Grenzen sind natürlich nicht so scharf, sondern beide Gebiete gehen ineinander allmählich über und dementsprechend grenzen auch nicht Wald und Prärien sich schroff gegeneinander ab, sondern der Wald wird nach Westen zu allmählich lichter, nach und nach treten zwischen Baumgruppen freie Grasplätze auf, die langsam an Ausdehnung gewinnen, bis schließlich die Baumgruppen immer kleiner und niedriger werden, in Busch übergehen und zuletzt ganz verschwinden. An Wasserläufen und in Tälern ziehen sich aber Waldstreifen und Büsche oft noch viele Meilen weit in die Prärie hinein, und an

feuchteren Stellen, in Senkungen oder Talkesseln treten auch mitten in der Prärie noch Wälder in kleinen Komplexen auf.

Je weiter nach Westen, desto mehr nehmen Niederschläge und Luftfeuchtigkeit ab, und dementsprechend ändert sich auch die Zusammensetzung der Pflanzenwelt in der Prärie. Im Osten überwiegen bei weitem die Gräser und bilden hier Flächen von enormer Ausdehnung, das Gebiet des „Büffelgrases“. Das ist nicht etwa eine einzige Grasart, sondern man bezeichnet mit dem Wort Büffelgras die gesamte Grasvegetation der Prärie, die im Osten vorwiegend aus *Buchloe dactyloides* („Buffalo-Grass“), ferner *Munroa squarrosa*, Arten der Gattungen *Bouteloua*, *Stipa*, *Hordeum*, *Elymus* u. a. zusammengesetzt ist. *Buchloe dactyloides* ist das beste und wertvollste Weidegras der Prärie, schon deshalb von größter Bedeutung, weil es in den südlicheren Gegenden auch über Winter grün bleibt und auch ausgedorrt noch eine gute Nahrung für Weidevieh bietet; auch wird es nach jedem Regen rasch wieder grün. Es ist allerdings nur niedrig, bedeckt aber den Boden gewöhnlich ziemlich dicht und gab ungezählten Tausenden von Büffeln jahraus jahrein ausgiebige Nahrung, bis die niederträchtigste Aasjägeri dieses imposante Wild in wenig Jahren von den Prärien verschwinden ließ.

Zwischen den Gräsern finden sich auch allerlei andere Steppenpflanzen, Kompositen und Schmetterlingsblütler wachsen in großer Artenzahl darunter und nehmen an trockeneren Stellen oft so zu, daß die Gräser dagegen zurücktreten. Nach Westen zu wird die Prärie weniger üppig; wenn auch der Boden noch stellenweise fruchtbar genug bleibt, die Feuchtigkeit fehlt. Die einzelnen Grasbüschel, die hier überwiegen aus verschiedenen Arten der Gattung *Bouteloua* bestehen, treten weiter auseinander und lassen immer größere Flächen kahler Erde zwischen sich durchblicken, vereinzelt treten xerophile Sträucher auf, und schließlich nimmt die Prärie zwischen den Rocky Mountains und der Sierra Nevada einen fast wüstenartigen Charakter an. In südwestlicher Richtung treten Kakteen und andere Sukkulente (Agave, Yucca) hinzu, am großen Salzsee finden sich die typischen Halophyten der Salzsteppe ein, während in den südöstlichen Prärien riesenhafte, bis mannshohe Gräser (*Spartina cynosuroides*, *Panicum*arten) sich hinzugesellen und stellenweise ganz dichte, geschlossene, Getreidefeldern vergleichbare Grasvegetationen bilden.

Ein riesiges Steppengebiet, die Pampas, dehnt sich in Südamerika zwischen dem Atlantischen Ozean und den Anden aus bis an die Urwaldzonen des mittleren Südamerikas. Es sind teils völlige Ebenen, teils leicht welliges Terrain, völlig baum- und buschlos, hauptsächlich von harten Gräsern (*Stipa*- und *Melica*arten) in dichten, aber zerstreut stehenden Büscheln bewachsen, dazwischen mit zahlreichen Korbbblütlern und namentlich massenhaft in der Gegend größerer Städte, wie Buenos Ayres, von eingewanderten europäischen Pflanzen besiedelt. Von heimischen Arten sind noch Verbenen, Malven und einige Schmetterlingsblütler, meist mit wenig auffallenden, kleinen Blüten, als Bewohner der Pampas zu nennen. Auch die Pampas haben vorwiegend ein trockenes Klima, zwar zuweilen von heftigen Gewitterregen unterbrochen, die aber nur kurze Zeit anhalten und von dem steinharten, ausgetrockneten Boden abfließen, ohne aufgenommen zu werden.

Länger anhaltende, weniger heftige, aber in den Boden eindringende Regen bleiben oft viele Monate aus, aber die Luftfeuchtigkeit und damit die Taubildung ist größer, und die strenge Kälte in den Wintern der nordamerikanischen oder osteuropäischen Prärien und Steppen fehlt. Dagegen sind die wilden Pamperos, überaus heftige Stürme, die mit elementarer Gewalt über die weiten Grasflächen dahinbrausen, ein überaus baumfeindliches Element und ersticken jeden Versuch einer Wald- oder Buschvegetation schon beim ersten Beginn. Trotzdem aber lassen sich wenigstens in manchen Gegenden Bäume zur Entwicklung bringen, zumal der Grundwasserstand meist kein sehr tiefer ist.

Steppen finden sich auch noch in andern Gebieten, so in einigen Gegenden Innerafrikas, hier allmählich in Wüsten oder Buschwald übergehend, in Australien, in denen allerdings die eigentlichen Steppen, soweit sie nur einigermaßen fruchtbaren Boden besitzen, in Getreideland umgewandelt sind. Was jetzt noch an Steppen dort vorhanden ist, zeigt bereits Übergänge zu dem bereits geschilderten australischen Busch.

Die dritte Gruppe der Grasformationen wird durch die Savannen (Llanos, Campos) gebildet; sie gehören sämtlich den tropischen bis subtropischen Gebieten an und unterscheiden sich klimatisch von den sonst sehr nahe verwandten Steppen hauptsächlich durch das Fehlen eines langen strengen Winters. Die Vegetationsruhe wird ausschließlich durch die trockene Zeit bewirkt, während welcher zwar die Pflanzen graugelb und welk stehen, auch stellenweise völlig vertrocknen, aber meist nicht den völlig toten Charakter der Steppen annehmen, denn gerade während der Trockenperiode treten an verschiedenen, des vegetativen Grüns beraubten Pflanzen die Blüten auf. Die Vegetationsruhe dauert auch meist nicht so lange als in den Steppen, da ja hier nicht noch ein langer Winter nach der Trockenperiode fällt.

Alle Savannen zeichnen sich dadurch aus, daß der Boden nicht mit einer zusammenhängenden Grasnarbe bedeckt ist, sondern daß die Gräser in einzelnen dichten Büschen stehen, zwischen denen mehr oder weniger breite Strecken des Bodens freibleiben. Die Gräser selbst sind sehr hoch, oft über mannshoch, in hochgelegenen Savannen bleiben sie niedriger und je nach den sonstigen klimatischen Verhältnissen reichlicher oder spärlicher mit anderen, hauptsächlich staudenartigen Pflanzen durchsetzt. Überhaupt treten neben den Savannengräsern stets auch mehr oder weniger reichlich Büsche und niedrige Bäume auf, und wo diese besonders vertreten sind, kann man von Savannenwald sprechen. Selten wie in einigen Gegenden Venezuelas sind fast völlig baumfreie Savannen, und dann ist ihr Aussehen von dem der Steppe nur wenig verschieden. Die Bäume der Savannen bleiben in der Regel niedrig, knorrig, krüppelig, oft, ebenso wie die Büsche dornig, und selbst in den Savannenwäldern so licht, daß sie nirgends Schatten geben. Die Gräser sind steifblättrig und hart, rauh, oft behaart, die Kräuter fast alle mehrjährig mit ausdauernden knotig oder knollig verdickten unterirdischen Teilen; einjährige Pflanzen fehlen fast ganz. Alle Pflanzen sind ausgesprochene Xerophyten, Wachs- und Haarüberzüge, Steifheit und lederartige Beschaffenheit sind den meisten eigen, ebenso besitzen viele ätherische Öle oder

Lacküberzüge. Labiaten, Kompositen, Leguminosen, auch Verbenaceen und Myrtaceen nehmen neben den Gräsern und stellenweise Cyperaceen Teil an der Bildung der Savannen, Gräser herrschen jedoch fast stets bedeutend vor.

In den einzelnen Ländern, in denen die Savannen vorkommen, zeigt sich natürlich eine beträchtliche Verschiedenheit in der Flora. Die westafrikanischen Savannen gleichen oft weiten lichten Parklandschaften mit eingesprengten Büschen und zerstreuten, zum Teil riesigen Bäumen. Einzelne Palmen, so die Ölpalme (*Elaeis guineensis*) und besonders der Affenbrotbaum (*Adansonia digitata*) mit seinen enormen Dimensionen machen das Bild der westafrikanischen Savannen zu einem durchaus eigenartigen, und hier kann man, wenn die Bäume etwas mehr zusammentreten, oft schwer entscheiden, ob man Savanne oder Wald vor sich hat. Die verschiedenen andern Bäume dieser Grasfluren bleiben meist erheblich an Größe zurück, in den ostafrikanischen Buschsteppen, die ja ebenfalls im weitesten Sinne noch zu den Savannen gehören, sind nur Büsche und wenige Meter hohe Bäume entwickelt. Sehr oft handelt es sich dabei um Gehölze, die während der heißen Jahreszeit ihr Laub abwerfen, also sommerdürre sind, was auch beim Baobab der Fall ist.

IV. KAPITEL

Die Heide

Der Umfang des Begriffs „Heide“ ist im wesentlichen bedeutend einzuschränken gegenüber dem in manchen Gegenden herrschenden Sprachgebrauch; denn gewöhnlich wird besonders in Norddeutschland überhaupt jede sterile sandige Gegend darunter verstanden. Im eigentlichen Sinne soll aber das massenhafte gesellige Vorkommen des Heidekrautes (*Calluna vulgaris*) darunter verstanden werden, und viele als Heide bezeichnete Kiefernwälder, z. B. große Strecken der Tuchler Heide in Westpreußen entsprechen diesem Begriff durchaus nicht, das Heidekraut spielt hier oft eine sehr untergeordnete Rolle.

Die Heide ist eine spezifisch deutsche Vegetationsform, die wohl auch in andern europäischen Ländern auftritt, nirgends aber in so ausgedehntem Maße und in so typischer Form als gerade in Deutschland, und zwar hier wieder im Nordwesten. Die bekannte Lüneburger Heide bewahrt noch heut, trotz der zahlreichen durch die Kultur bedingten Veränderungen im wesentlichen ihren Charakter, und auch in der Mark, in Schleswig-Holstein bis weit hinauf nach Jütland sind typische Heiden vorhanden.

Nur auf sehr salzarmem Boden gedeiht das Heidekraut, daher wird man es vergänglich auf Kalk oder schwerem Lehmboden suchen, es ist eine von armem Sand- und Moorboden kaum zu trennende Pflanze. Auch gewisse klimatische Faktoren sind für das Gedeihen des Heidekrautes bedeutungsvoll; die immergrünen Ericaceen verlangen feuchte Luft, besonders im Winter, und unsere Heiden kommen nur dort zu voller Entwicklung, wo sich die Luftfeuchtigkeit des Seeklimas noch bemerkbar macht, also besonders in Nordwestdeutschland und teil-



Flachmoorbildung am Rande eines toten Rheinarmes bei Maxau unweit Karlsruhe



weise noch in den deutschen Mittelgebirgen. Hier kommt es sogar stellenweise zu einer ganz außergewöhnlichen Entwicklung; im Odenwald mit seinen milden Wintern, so besonders in der Gegend zwischen Hirschhorn a. Neckar und Eberbach kommen überaus dichte und stellenweise fast mannshohe „Bestände“, könnte man beinahe sagen, von Heidekraut vor. Sie spielt dort als Stallstreuung, „Sträble“, eine wichtige Rolle.

In den meisten Fällen bleibt sie aber wesentlich niedriger, etwa bis halbmeterhoch, bald dichter, bald lockerer, gewöhnlich so locker, daß der Boden noch mit einer meist ziemlich dichten Flechtenschicht, hauptsächlich aus Cladonien bestehend, bedeckt ist. Die Heideflora selbst ist ziemlich verschiedenartig, denn das Heidekraut kommt sowohl auf dem feuchten Boden der Hochmoore, als dem dünnen und trockenen der Kiefernwälder fort. Trockene Heiden beherbergen noch als häufige Bestandteile der Flora Ginsterarten, Besenpfriemen, Blaubeeren, Preiselbeeren und verschiedene Gräser (*Molinia caerulea*, *Aira flexuosa*, *Nardus stricta* u. a.); außerdem häufig Birken und Kiefern, die selbst noch in geschlossenem Bestand fortkommen. Nasse Heiden, Moorheiden, dagegen enthalten neben Torfmoosen an feuchten Stellen *Vaccinium uliginosum*, *Arctostaphylos Uva ursi*, *Andromeda polifolia*, einzelne *Carex*- und Wollgrasarten, Birken und Moorkiefern, und das Aussehen der Sand- und Moorheiden ist schon äußerlich ein ganz verschiedenes. Und doch gehen beide leicht ineinander über, nur der Feuchtigkeitsgehalt des Bodens ist dabei entscheidend.

Sobald erst das Heidekraut irgendwo festen Fuß gefaßt hat, zeigt es auch die Tendenz, sich langsam auszubreiten, selbst auf ursprünglich nährsalzreichem Boden kann es, wenn auch langsam an Ausdehnung gewinnen. Keine zweite Pflanze neigt so sehr zur Rohhumus-, respektive Torfbildung als das Heidekraut oder dessen Verwandte, die Glockenheide (*Erica Tetralix*), die im Nordwesten an feuchteren Stellen ebenfalls ziemlich geschlossen auftreten kann. Durch die Rohhumusbildung entstehen aber relativ große Mengen Huminsäuren, die zu einer raschen Auslaugung und Verarmung des Bodens führen. Dadurch aber werden die Lebensbedingungen für eine große Anzahl von Pflanzen so sehr verschlechtert, daß sie schließlich vor dem Heidekraut das Feld räumen müssen.

Man behauptet allerdings auch, daß das Heidekraut sehr wohl auf fruchtbarem Boden zu gedeihen vermöge und daran nur durch die Konkurrenz anderer Pflanzen gehindert werde, so daß es sich auf den sterilen oder sauren Boden zurückziehen muß, weil ihm dorthin andere Pflanzen nicht folgen können. Das kann aber nur in beschränktem Maße richtig sein, denn das Heidekraut will auch in der Kultur der botanischen Gärten, wo die Konkurrenz anderer Pflanzen ausgeschlossen ist, nicht recht gedeihen, wenn das zum Begießen verwendete Wasser ziemlich kalkhaltig ist. Jedenfalls ist in der freien Natur die Grundbedingung für das Auftreten des Heidekrautes ein besonders nährstoffarmer Boden.

Hat sich nun irgendwo eine solche Stelle gebildet, die den Ansprüchen des Heidekrautes zusagt, so kann, sobald eine Besiedelung mit *Calluna* erfolgt ist, ein allmähliches Fortschreiten der Heide erfolgen, weil die Heide selbst in der unmittelbaren Umgebung durch die entstehenden Humussäuren für eine Verarmung

des Bodens sorgt. Das Vorschreiten wird zwar sehr langsam erfolgen, aber im Lauf von Jahrhunderten oder selbst Jahrzehnten doch merklich sein, und in der Tat dehnt sich die Heide, wo sie nicht durch menschliche Gewalt zurückgedrängt wird, in vielen Gegenden langsam aus; wo noch vor Jahrhunderten mächtige Eichen und Buchen standen, breitet sich jetzt die einförmige, baumlose Heide aus.

Das Bild der Heide ist ein eigenartiges; sie ist einförmig und arm an großen Effekten. Nicht jeder vermag den eigenartigen Zauber, der auch der Heide innewohnt, zu verstehen, und viele betrachten sie fast als ein Sinnbild der trostlosen Öde. Freilich im Spätherbst, im rauen Nebel oder Dunst eines Novembertages, wird sie für den Fremden wenig Reize bieten. Was sich an laubabwerfendem Gesträuch findet, *Salix* und *Betula*, Ginster und Besenfriemen, steht kahl,

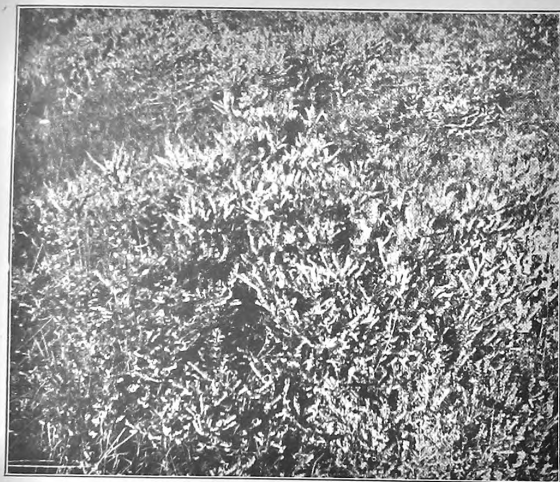


Fig. 141. Blühende Heide

Gräser und Seggen sind fahl graugelb vertrocknet, und die immergrüne *Calluna* hat durchaus keine grüne sondern eine dunkelbraune Farbe angenommen; das ganze macht einen durchaus düstern, melancholischen Eindruck. Im August aber, wenn die unzähligen zartroten Blüten die ganze Heide in ein leuchtendes Blütenmeer verwandeln, bietet sie einen so wundervollen Anblick, wie ihn, wenigstens in unseren Gegenden kaum eine andere Vegetationsform aufzuweisen hat (Fig. 141). Die Gleichartigkeit der Zusammensetzung in der Flora und das weit überwiegende Vorherrschen einer Pflanzenform geben der Heide in ausgedehnten Flächen eine gewisse Ähnlichkeit mit den Grassteppen, aber die Blütenpracht des Sommers erhebt sie weit über jene.

Heiden gehen an feuchten Stellen allmählich in typische Hochmoore, Heide-moore über, während sie andererseits auch in Wiesen, Weiden und Wald, oft fast unmerklich verlaufen, wo der Salzgehalt des Bodens ein höherer wird.

Ähnliche Vegetationsformen kommen freilich auch in andern Ländern, selbst

in andern Weltteilen vor, doch treten hier zum Teil so wesentlich verschiedene Arten auf, daß das Aussehen beträchtlich von dem unserer Heiden abweicht. Die berühmten „Landes“ der Gascogne enthalten schon vorwiegend *Erica arborea*, die ihrerseits bereits wieder einen Bestandteil der Maquivegetation des Mittelmeeres bildet und so zu diesen überleitet. Im Kapland bestehen ebenfalls ausgedehnte heideartige Vegetationen, aus zahlreichen verschiedenen Ericaceen gebildet; aber sie tragen mehr buschartigen Charakter und leiten zu xerophilen Gehölzformationen über.

V. KAPITEL

Die Moore

Moore sind wesentlich durch physikalische und chemische Eigenschaften des Bodens bedingte Vegetationsformen, die sich dadurch auszeichnen, daß die abgestorbene organische Substanz nicht wie auf normalem guten Boden immer wieder zersetzt wird, sondern einer eigentümlichen Veränderung, der Vertorfung, unterliegt. Das geht hauptsächlich durch rein chemische Prozesse vor sich und besteht wesentlich in einer fortgesetzten Abspaltung von Wasser aus den chemischen Verbindungen, so daß die zurückbleibenden Reste schließlich immer reicher an Kohlenstoff, immer dunkler, bis zuletzt ganz schwarz werden. Die veränderten organischen Reste, die von einigen bestimmten Pflanzenarten, Heidekraut, Seggen, Gräsern, besonders aber Torfmoosen herrühren, werden als Torf zusammengefaßt; der Torf wird in den unteren älteren Schichten immer schwärzer und kohlenstoffreicher, er ist hier auch bereits soweit verändert, daß sich meist nur vereinzelte, deutlich erkennbare organische Reste erhalten haben, die überwiegende Masse aber aus kleinen braunschwarzen Körnchen besteht.

Wenn man ein Stückchen Torf mit Kalilauge behandelt, so färbt sich diese braun, sie zieht also Stoffe aus dem Torf aus und löst dieselben in ziemlich beträchtlicher Menge. Durch starke Säuren lassen sich diese gelösten Stoffe wieder als eine gallertartige braune Masse ausfällen. Das sind die Huminsäuren, die dem Torf den ausgesprochenen sauren Charakter verleihen und die eigenartige Beschaffenheit der Moorflora bedingen.

Moore können unter ganz bestimmten örtlichen Verhältnissen zur Bildung gelangen; nur auf undurchlässigem Untergrund, über dem sich das Wasser ansammelt, können sie entstehen. Eine größere Feuchtigkeitsmenge über solchem Untergrund ist für Moorbildung ebenfalls unerläßlich, das Wasser darf also weder versickern noch auch rasch abfließen, andererseits aber sich auch nicht in solchen Mengen ansammeln, daß es zu einer Seenbildung kommt. Undurchlässige Felsmassen, wie sie besonders im Gebirge vorkommen, ganz besonders aber ausgedehnte Ton- oder Lettenschichten und schließlich Ortstein in gewissen Fällen können zur Bildung von Torfmooren Veranlassung geben, weil ein Durchsickern des Wassers hier gar nicht oder nur in sehr beschränktem Maße stattfindet.

Nach dem Bau der Moore unterscheidet man zwei wesentlich verschiedene

Formen, Hochmoore und Flachmoore. Die Hochmoore entstehen ausschließlich auf nährsalzarmen Boden und zeigen eine flach uhrglasförmige Wölbung, die allerdings nicht in allen Fällen deutlich hervortritt. Die Flachmoore, Grünlandsmoore oder Wiesenmoore, auch oft einfach „Moos“ mit dem merkwürdigen Pluralis „die Möser“ genannt, sind Moorformen, die auf nährstoffreichem Boden entstehen und keine Wölbung nach der Mitte zu zeigen. Beide Formen können sowohl im Gebirge wie in der Ebene vorkommen und sind ausschließlich durch den größeren oder geringeren Nährsalzgehalt des Wassers bedingt.

Die Flachmoore entstehen zunächst stets am Rande von Seen oder langsam fließenden Gewässern, die sie zuweilen in beträchtlichem Umkreis umgeben. Besonders tote Flußarme zeigen eine große Neigung zur Flachmoorbildung. Ihre Vegetation besteht aus Cyperaceen und Gramineen verschiedener Art, ist im allgemeinen sehr wechselnd, namentlich bezüglich der eingestreuten anderen Pflanzen und geht an den trockneren Rändern in die gewöhnliche Wiesenflora über. Fast stets ist *Phragmites communis*, das Schilfrohr an den feuchteren Stellen die herrschende Charakterpflanze; sie bildet besonders unmittelbar am Rande der Gewässer oft ausgedehnte, dichte Rohrwälder. An anderen Stellen treten Liesch oder Schilf (*Typha*) und mächtige *Juncus*-arten vor und verdrängen das Schilfrohr, auch verschiedene Cyperaceen, besonders *Scirpus* (*Sc. lacuster*, Wollgras (*Eriophorum*), und Seggenarten (*Carex acuta*, *vulgaris*, *caespitosa*, *canescens* u. a.) finden sich ein. Je saurer die Wiesen sind, desto mehr treten die Cyperaceen in den Vordergrund.

Zwischen diesen grasartigen Pflanzen kommen nun noch zahlreiche andere eingesprengt vor; manche Stellen, besonders in den eisenhaltigen sogenannten „Rotbrüchen“ sind fast ganz von dem Bitterklee (*Menyanthes trifoliata*) bedeckt. Von Gesträuchen sind es hauptsächlich Weiden, besonders die kriechende *Salix repens*, seltener Birken und verkrüppelte Kiefern. Verschiedene Sumpfmoose, besonders *Hypnum*-arten, *Aulacomnium*, *Meesea* usw. treten zwischen den Cyperaceen auf. Von Blütenpflanzen ist *Parnassia palustris*, das Einblatt oder Herzblatt noch besonders den Mooren eigen, im übrigen aber zeigt die Flora hierin eine große Veränderlichkeit.

An die Flachmoore schließen sich unmittelbar die Brüche oder Moorbrüche an, die hauptsächlich von Erlengebüsch bedeckt sind. Die Roterle (*Alnus glutinosa*) gedeiht gerade auf nicht zu saurem Moorboden besonders gut, deshalb ist sie die stete Begleiterin der Bäche, die durch Wiesengelände sich hinziehen. Sie lebt aber am liebsten unmittelbar am Wasser selbst, weil die entstehenden Humussäuren hier immer ausgewaschen werden, während in einiger Entfernung vom Bach oft schon eine solche Anreicherung derselben stattfindet, daß auch die Erle nicht mehr gut gedeihen will. Erlenbrüche im engeren Sinne, also nicht bloß eine am Bachrande sich hinziehende, sondern eine größere oder kleinere Fläche — oft selbst fern von eigentlichen Bachläufen — können sich nur in einem feuchten, aber wenig sauren Moorboden entwickeln.

Ganz anders geartet sind die Hochmoore, die nur dann zur Entwicklung gelangen, wenn Mangel an mineralischen Nährstoffen vorhanden ist. Ihre Ent-

stehung ist eine verschiedenartige. Es können sich Hochmoore von vornherein bilden, wenn der Boden aus an sich nährsalzarmem Gestein entstanden ist. Gewöhnlich aber geht die Hochmoorbildung auf einem Boden vor sich, der ursprünglich nährsalzreich war, aber seinen Salzgehalt verloren hat. Beginnende Rohhumusbildung kann da, wo Feuchtigkeit und Undurchlässigkeit des Bodens vorhanden sind, sehr leicht zur Hochmoorbildung führen; die Wälder versumpfen. Der Prozeß ist ein sehr langsamer; an feuchteren Stellen solcher rohhumusreichen Wälder siedeln sich Torfmoose in einzelnen Polstern an, die nach und nach zusammenwachsen und eine geschlossene Decke bilden. Torfmoose aber liefern bei dem eigentümlichen Zersetzungsprozeß der abgestorbenen Teile beträchtliche Mengen von Huminsäuren, die nun ihrerseits in der bereits früher geschilderten Weise auslaugend auf den Boden in der Nachbarschaft wirken und den Mangel an Nährsalzen erhöhen. So bereiten sie den Boden für ihre weitere Ausbreitung selbst vor und machen ihn für andere Pflanzen, besonders auch für die Waldbäume immer ungünstiger. Durch die Schwammigkeit der Torfmoospolster wird gleichzeitig der Feuchtigkeitsgehalt in der Umgebung vermehrt, aber selbst an den trockener bleibenden Stellen verschwinden nach und nach die Nährsalze so sehr, daß nur sehr genügsame Arten — und das sind eben die Hochmoorpflanzen — dort gedeihen können. Hier entwickeln sich dann die *Vaccinium*arten und das Heidekraut; während der Wald mit seiner Flora nach und nach verschwindet.

Aber auch an trockenen Stellen, an denen wegen der zu großen Trockenheit eine normale Zersetzung der organischen Stoffe nicht stattfindet und deshalb Rohhumusbildung eintritt, können sich Hochmoore entwickeln; nur verläuft hier der Vorgang etwas anders. Huminsäuren bilden sich, wenn auch wesentlich langsamer, ebenfalls und entziehen dem Boden Nährsalze; dazu tritt dann vielfach Ortsteinbildung, die einen undurchlässigen Untergrund herstellt, nachdem in den oberen Schichten eine Auswaschung der Salze stattgefunden hat. Jetzt kann das Wasser in dem vorher trockenen und durchlässigen Boden nicht mehr ohne weiteres versickern, es stagniert und bildet im Verein mit dem nährsalzarmen Boden ein passendes Substrat für Hochmoorbildung. Hier geht die Hochmoorbildung zunächst nicht vom Torfmoos, welches von vornherein größere Feuchtigkeitsmengen braucht, sondern vom Heidekraut und den *Vaccinien* aus, die an trockenere Standorte angepaßt sind und die in der Entstehung begriffenen Hochmoore bereits besiedeln, noch ehe durch Ortstein eine undurchlässige Schicht gebildet ist. Auch hier verschwindet der Wald allmählich und macht dem Moor Platz.

Schließlich können sich auch Hochmoore aus Wiesenmooren entwickeln. Werden in einem abgeschlossenem Grünlandsmoor, welches sich am Rande eines Sees entwickelt und diesen durch fortwährende Neubildung von Torfmassen allmählich ausgefüllt hat, keine neuen Nährsalze, etwa durch einen Flußlauf, zugeführt, so findet ein allmählicher Verbrauch derselben durch die Vegetation der Grünlandsmoore statt. Der Boden, respektive das Wasser wird immer ärmer an Salzen, die in den abgestorbenen Pflanzenresten gespeichert werden, und schließlich so arm, daß sich die gewöhnlichen Pflanzen der Grünlandsmoore nicht mehr

ernähren können. Dann sind die Bedingungen für die Entwicklung von Hochmoorpflanzen gegeben, und aus dem Wiesenmoor wird unter Verdrängung der ursprünglichen Vegetation allmählich ein Hochmoor. Auch hier ist Ortsteinbildung eine häufige Erscheinung, und es bilden sich, nachdem der See längst verschwunden war, infolge der Undurchlässigkeit des Untergrundes die charakteristischen Tümpel der Hochmoore.

Die Hochmoore sind meist schon alte Bildungen, aber, wie aus der Art und Weise ihrer eben geschilderten Entstehung hervorgeht, zum Teil auch noch in der Gegenwart in der Bildung begriffen. Die in ihnen abgelagerten Torfschichten haben deshalb eine sehr verschiedene Dicke und zeigen auch eine ungleiche Zusammensetzung. Bei den älteren Hochmooren, die aber auch gleichzeitig die weit- aus häufigeren sind, zeigen sich fast stets vier deutlich voneinander verschiedene Schichten.

Die unterste Schicht ist, entsprechend der gewöhnlichen Art und Weise der Entstehung der Hochmoore, reich an Resten von Baumstämmen und wird deshalb als *Waldtorf* bezeichnet; dazwischen finden sich hauptsächlich Reste von Cyperaceen (*Seggentorf*). Die Schicht wird ungefähr 1 m mächtig und geht nach oben in den unteren *Moostorf*, eine 2–3 m mächtige, hauptsächlich aus stark zersetzten Torfmoosen bestehende dunkle, nach dem Trocknen fast schwarze Torfmasse über. Darauf folgt die nur etwa 30 cm dicke *Grenzschicht*, die verhältnismäßig wenig Torfmoose enthält, sondern meist aus Wollgras, Heidekraut, Kiefern und Birken besteht also offenbar auf eine wesentlich trockenere Periode hinweist. Die oberste, etwa 1–2 m mächtige Schicht ist der hellbraune obere *Moostorf*, zumeist aus noch gut erhaltenem Torfmoos bestehend und nach oben in die noch lebende Moosdecke übergehend. Dazwischen kommen Wollgras, an den trockeneren Stellen Heidekraut und Vaccinien, auch Birken und Kiefern vor. Die Zusammensetzung der Hochmoorflora ist aber nicht immer die gleiche gewesen, sondern offenbar durch klimatische Einflüsse verändert worden.

Die gegenwärtige Flora der Hochmoore ist eine verhältnismäßig einförmige und gleichartige. Heidekraut und Torfmoos sind die Charakterpflanzen und in überwiegender Menge entwickelt, oft getrennt, oft aber auch in der Weise, daß an den trockeneren Stellen das Heidekraut, an den feuchteren das Torfmoos in demselben Moor auftritt. Verschiedene *Vaccinium*-arten, besonders *V. Oxycoccus* und *Vaccinium uliginosum*, dann die Rauschbeere (*Empetrum nigrum*), *Andromeda polifolia* an manchen Stellen, auch *Arctostaphylos Uva ursi* und seltener auch, wenigstens bei uns, der wilde Rosmarin (*Ledum palustre*) treten zwischen dem Heidekraut auf. Außer der gewöhnlichen *Calluna vulgaris* kommt noch die Glockenheide (*Erica Tetralix*) und in einigen Gegenden *E. carnea* vor. Gräser sind selten, an trockeneren Stellen findet sich *Nardus stricta*; häufiger sind Cyperaceen, besonders verschiedene Wollgrasarten (*Eriophorum*). Verkrüppelte Kiefern und Birken geben den trockeneren Stellen oft einen locker buschartigen Charakter, meist aber sind sie nur in weiten Zwischenräumen entwickelt.

Diese wenigen Pflanzen kehren auf allen Hochmooren wieder; in dem einen können diese, im andern jene Arten fehlen. Reich sind dagegen die Wasseran-

sammlungen der Hochmoore an einer Gruppe von Grünalgen, den überaus zierlichen Desmidiaceen, die in zahlreichen Arten, oft in massenhafter Entwicklung auftreten. Auch einige andere Algen sind den Torfwässern eigen, so der blaugrüne *Chroococcus turgidus* und das ebenfalls blaugrüne, aber trotzdem zu den Rotalgen gehörende überaus zierliche *Batrachospermum vagum*.

Nach dem Vorwiegen des Heidekrautes oder des Torfmooses hat man die Hochmoore in Heidemoore und Moosmoore geschieden; in ihren Extremen sind beide äußerlich allerdings nicht unbeträchtlich voneinander verschieden, meist aber gehen sie vollständig ineinander über. Moose und Heide wachsen völlig durchmischt. Das Heidekraut vermag auch auf völlig dürrer Sande sich noch zu entwickeln, das Torfmoos nicht, und deshalb nimmt an trockenen Stellen die Vegetation des ersteren überhand und geht unmittelbar in die Heide über.

An die Moore schließen sich eine Anzahl andere Vegetationsformen an, die zum Teil als Sümpfe bezeichnet und abgetrennt werden. Ein wesentlicher Unterschied zwischen Grünlandsmooren und Sümpfen ist jedoch nicht vorhanden; man könnte nur insofern eine Trennung zwischen beiden annehmen, als man die wasserreichen und besonders tiefgründigen Moorformen als Sümpfe, die trockeneren als Grünlandsmoore bezeichnet. Dann ist allerdings auch eine nicht unbeträchtliche Verschiedenheit beider in der Vegetation bemerkbar.

Die Sümpfe sind hauptsächlich von Rohr und Schilf bewohnt, gewöhnlich aber so, daß größere Flächen ausschließlich von einer Art bedeckt sind, während an anderen Stellen eine andere die Vorherrschaft führt. Neben *Phragmites* und *Typha* kommen auch *Scirpus lacustris* und *Equisetum palustre* und *limosum* in dicht geschlossenen, rasenförmigen Vegetationen vor, beide hauptsächlich am Ufer stehender Gewässer, während Rohr und Schilfwälder auch fließendes Wasser begleiten. Dazwischen kommen von Gräsern noch *Phalaris arundinacea* und *Glyceria spectabilis*, außerdem verschiedene *Carex*-Arten und einige *Juncus*, z. B. der über meterlang werdende *J. effusus*, stellenweise ebenfalls dicht geschlossen wachsend vor. Mehr eingesprengt zwischen ihnen lebt der Igelkolben (*Sparganium*) in verschiedenen Arten, die gelbe Schwertlilie (*Iris Pseudacorus*), eine Zierde unserer Sumpfflora, ferner in manchen Gegenden *Acorus Calamus* und der schöne Blumenliesch (*Butomus umbellatus*). In vielen Sümpfen kommt auch der großblütige *Ranunculus Lingua*, ferner sehr verbreitet *Lythrum Salicaria* und verschiedene *Rumex*-Arten, der Wasserschierling (*Cicuta virosa*) und einige andere Doldengewächse, auch die schön gelb blühende *Lysimachia vulgaris* vor. Alle genannten Pflanzen sind zwar krautig, aber ziemlich hoch und schlank und vermögen im dichten Schluß zu gedeihen; die meisten sind unverzweigt und pflanzen sich weniger durch Samen als vegetativ durch Ausläufer fort. Das ist auch die Ursache, weshalb viele von ihnen ein beschränktes Gebiet so völlig exklusiv bewohnen; durch die Ausläuferbildung werden andere, schwächere Pflanzen, besonders solche, die sich erst aus Samen entwickeln müssen, ganz verdrängt oder gelangen erst gar nicht zur Entwicklung. Sie sind auch deshalb meist mehrjährig, oder bilden doch Knollen oder irgendwelche Überwinterungszustände, die gleich von vornherein ein kräftiges Austreiben im Frühjahr gestatten. Einige bilden

überhaupt kaum noch keimfähige Samen und vermehren sich fast ausschließlich vegetativ, obgleich sie reichlich blühen; aber da die Samen nur sehr selten wirklich zur Entwicklung kommen, weil die zarten Keimpflänzchen immer gleich von den kräftiger wachsenden, von der Mutterpflanze noch ernährten vegetativ entstandenen Tochterpflanzen unterdrückt werden, so hört eben die Samenbildung nach und nach auf und die dafür aufzuwendenden Baustoffe werden zweckmäßiger für Ausläufer verbraucht.

Die Sumpfvegetation trägt allerdings nicht überall denselben Charakter, wie er bei uns durch Gräser oder grasähnliche Pflanzen der Hauptsache nach repräsentiert wird; gerade die Gräser treten in den Tropen sehr hinter anderen Pflanzen zurück, beispielsweise gegen Araceen, von denen bei uns nur zwei, *Calla palustris* und *Acorus Calamus*, letzterer schon mit etwas grasartigem Habitus in den Sümpfen vorkommen. Nur die Bambusvegetation ist vorwiegend aus mächtigen, verzweigten Grasformen gebildet, die am meisten noch mit unsern *Phragmites*-wäldern Ähnlichkeit haben, denn auch das Schilfrohr kann stellenweise (Lausitz) eine Höhe von 10 m erreichen.

Diesen Sümpfen gegenüber sind dann die Grünlands- oder Wiesenmoore im engeren Sinne Vegetationsformen auf trockenem Boden; sie gehen meist nach dem Wasser zu ohne scharfe Grenze in die Sümpfe über und sind oft aus ihnen hervorgegangen. Ihre Flora ist ähnlich, auch *Phragmites* tritt noch in ihnen stellenweise auf, aber nicht mehr in dichtem Schluß, sondern vereinzelte, niedrigere und dünnere Stengel bildend. Die Hauptvegetation wird durch verschiedene Cyperaceen, Arten von *Carex*, *Eriophorum*, *Scirpus*, *Rhynchospora*, *Cyperus* gebildet. Zahlreiche Arten von Binsen (*Juncus*), kommen ebenfalls vor, *Caltha palustris*, Orchisarten und verschiedene der auch auf Wiesen auftretenden Blütenpflanzen schließen sich an. Besonders reich sind verschiedene Moose (*Aulacomnium*, *Hypnum* u. a.), auch ein Lebermoos, *Marchantia polymorpha*, entwickelt. Einige Blütenpflanzen, z. B. das Läusekraut (*Pedicularis*) in verschiedenen Arten kennzeichnen, namentlich im Gebirge, stets moorigen Boden.

Wie schon früher erwähnt, sind die meisten Sumpf- und Moorpflanzen mehr oder weniger xerophil gebaut, was zunächst befremdet, da ihnen doch Wasser in genügender Menge zur Verfügung steht. Aber das Wurzelsystem und die Leitungsbahnen sind nicht so reich entwickelt, als bei den Landpflanzen, und würden bei trockenem, heißem Wetter den Bedarf der oberirdischen Teile nicht decken können, wenn diesen nicht irgendwelche Schutzmaßregeln gegen zu starke Verdunstung zukommen, besonders, wenn einmal der Wassergehalt der Moore im Hochsommer schwindet.

An die Moore schließt sich noch eine merkwürdige Vegetationsform des hohen Nordens an, die Tundra. Sie ist im wesentlichen in ihrem Charakter durch die ungünstigen klimatischen Verhältnisse dieser Gebiete bestimmt und trägt überall den Stempel der größten Dürftigkeit. Kurze, kühle Sommer und lange kalte Winter gestatten nur ein kurzes Pflanzenleben; der oft schon wenige Zentimeter unter der Oberfläche gefrorene Boden verhindert die Wurzeln am tieferen Eindringen. So haben die wenigen Pflanzen dieser hochnordischen Gebiete nicht

nur im Winter von Kälte, sondern im Sommer auch oft von Trockenheit zu leiden, denn aus dem Eis vermögen sich die Wurzeln kein Wasser zu holen und die darüberliegende, dünne aufgetaute Bodenschicht ist bald ausgetrocknet. Die Tundrenbewohner sind deshalb zumeist xerophil, obgleich die Menge der Niederschläge durchaus nicht gering ist und eigentliche Trockenzeiten gar nicht vorkommen.

Nichtsdestoweniger ist aber die nordische Tundra oder „Kältewüste“ durchaus nicht gleichförmig in ihrer Flora, wie es nach der Gleichförmigkeit der klimatischen Verhältnisse zu erwarten wäre; denn wenn auch die letzteren den größten Einfluß auf die Entwicklung der Pflanzenwelt ausüben, so spielen doch auch lokale Bedingungen eine nicht unbeträchtliche Rolle.

Der Boden der Tundra ist zumeist ein von einer geringen Torfschicht bedeckter sandiger oder kiesiger Lehm, stellenweise kalkhaltig oder steinig, aber für die auf ihm wachsenden Pflanzen doch nur in einer sehr dünnen Schicht zugänglich, da er auch im hohen Sommer dicht unter der Oberfläche gefroren bleibt. Diese Vereisung des Bodens bringt aber zugleich eine Undurchlässigkeit mit sich, und das Wasser der Niederschläge muß stagnieren, soweit es nicht oberflächlich abfließen kann. Nach der Schneeschmelze bilden deshalb die ebenen Tundren meilenweit ausgedehnte, aber flache Sümpfe, die im Laufe des Sommers oft ganz austrocknen, bis sie sich im Herbst wieder mit Schnee bedecken. In den flach welligen Tundren sind solche Sumpfbildungen nur in den Vertiefungen vorhanden, die Abhänge, besonders die nach Süden geneigten, werden früher schneefrei und zeigen auch später eine größere Erwärmung, weil nicht nur die Sonnenstrahlen auf sie viel senkrechter auffallen, sondern auch das an ihnen herabrieselnde Regenwasser des Sommers mit seiner großen Wärmekapazität beträchtliche Mengen Wärme an den Boden abgibt. Der Boden wird also hier tiefer auftauen und den Wurzeln ein tieferes Eindringen, bessere Nahrungsaufnahme ermöglichen. Damit sind Verschiedenheiten gegeben, die selbst auf beschränktem Gebiet deutliche Änderungen im Charakter der Pflanzenwelt hervorrufen.

Die unfruchtbarste Form der Tundra, die steinige oder Felsentundra, ist überhaupt nur sehr spärlich bewohnt; nur vereinzelte Riedgrasbüschel bilden noch die einzigen Vertreter der Pflanzenwelt. An den weniger unfruchtbaren Stellen der trockeneren Tundra entwickeln sich verschiedene Flechtenarten, besonders die Rentierflechte (*Cladonia rangiferina*), ferner *Cetraria islandica* und Arten der Gattungen *Platysma*, *Alectoria*, *Sphaerophorus*; sie bilden die Flechtentundra, die mit ihrer trübgrauen Vegetation das Bild der traurigsten Einöde darstellt. An etwas feuchteren Stellen entwickeln sich Moose, besonders Arten der Gattung *Polytrichum*, auch noch sämtlich xerophil, denn sie müssen im Sommer noch vielfach auf vollständige Austrocknung gefaßt sein. Nur an den tiefen, vor Austrocknung geschützten Stellen kommt es zu einer Vegetation, die der unserer Sphagnummoore einigermaßen ähnlich ist; verschiedene Torfmoosarten bilden den Hauptbestandteil, dazwischen kommen, besonders in etwas südlicheren Lagen *Empetrum nigrum* und die reizende Zwergheide (*Cassiope tetragona*) vor. Vereinzelte Gräser und Riedgräser wachsen in kleinen vortretenden Büscheln.

aber meist nur mit trüber gelbgrauer Farbe; selten treten niedrige mit größeren Blüten geschmückte krautartige Pflanzen auf, hauptsächlich Arten der Gattungen *Draba* und *Saxifraga*.

An den Südhängen entsteht eine etwas kräftigere Vegetation; die Grasbüschel werden größer, höher und freudiger grün, Saxifragen und Hungerblümchen nehmen an Zahl der Arten und Individuen zu, nur stellenweise versucht sich die immer noch kümmerliche Vegetation zu einer dichteren Decke zusammenzuschließen. Je weiter nach Süden, desto mehr belebt sich die Tundra mit neuen Gestalten, neue Pflanzen, oft mit lebhaft gefärbten Blüten, unsere Sumpfdotterblume und andere Ranunculaccen, Fingerkraut, Alpenmohn, *Pedicularis*, Löwenzahn und viele andere stellen sich ein, auch strauchige Weiden, erst schüchtern zwischen den Kräutern am Boden kriechend, weiter südlich mehr in Büschen auftretend, kommen hinzu. Aber soweit die eigentliche Tundra reicht, bleibt der Pflanzenwuchs, selbst der Sträucher ein auffallend niedriger, die Wirkung des ewigen Eises drückt der kümmerlichen Flora bereits überall ihren Stempel auf.

SECHSTER ABSCHNITT

Biologie der Ernährung

I. KAPITEL

Nährstoffe und Ernährung der grünen Pflanzen

WENN man von einigen später noch zu besprechenden Ausnahmen absieht, brauchen die grünen Pflanzen zu ihrer Ernährung ausschließlich anorganische Stoffe, und zwar Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Schwefel, Phosphor, Kalium, Calcium, Magnesium, Eisen. Sie nehmen diese Stoffe in Form von verschiedenen Verbindungen auf, und zwar mit Ausnahme des Kohlenstoffes, der aus der Kohlensäure der Luft aufgenommen wird, aus dem Boden, Sauerstoff und Wasserstoff als Wasser, die übrigen Stoffe als im Wasser gelöste Salze. Der Stickstoff entstammt zumeist salpetersauren Salzen, unter Umständen auch Ammoniakverbindungen, der Schwefel schwefelsauren Salzen, besonders dem schwefelsauren Kalk (Gips), Phosphor den Verbindungen der Phosphorsäure. An die drei Säuren, Salpetersäure, Schwefelsäure und Phosphorsäure, sind auch die für die Pflanze wichtigen Metalle angeschlossen.

Von diesen Stoffen stehen der Pflanze nur einige im Überfluß zur Verfügung, während andere entweder nur in sehr geringen Menge vorhanden sind, oder doch erst durch einen komplizierten chemischen Prozeß in den lebendigen Pflanzkörper aufgenommen werden können. Das gilt besonders vom Stickstoff und vom Kohlenstoff, und die Art und Weise der Ernährung mit diesen beiden Stoffen scheidet die Pflanzen im allgemeinen in zwei Klassen: die einen beziehen besonders den Kohlenstoff aus schon gebildeter organischer Substanz (Parasiten und Saprophyten), während ihn die andern nur der anorganischen Kohlensäure der Luft entnehmen können. Letztere Form der Kohlenstoffernährung wird als die normale bezeichnet.

Allerdings gibt es zwischen diesen Gruppen auch Übergänge; es gibt eine ganze Anzahl Pflanzen, die ihren Kohlenstoffbedarf aus der Luft decken können, ihn aber doch gelegentlich gern in bereits gebundener organischer Form andern Pflanzen entziehen. Es ist der Übergang zum Parasitismus, der in verschiedenartiger Form auftritt. Aber alle diese Pflanzen müssen ebenso, wie die sich normal ernährenden doch das Organ besitzen, welches allein imstande ist, den Kohlenstoff

aus der Kohlensäure frei zu machen und inorganische Verbindungen überzuführen, das Chlorophyll oder Blattgrün. Der Prozeß selbst wird als Kohlenstoff-assimilation oder kurzweg Assimilation bezeichnet. Chlorophyllfreie Pflanzen assimilieren nicht, können keine anorganischen Kohlenstoffquellen verwerten und sind auf organische Nahrung angewiesen.

Der chemische Prozeß, der zur Zerlegung der Kohlensäure und zum Aufbau der organischen Verbindungen vor sich geht, ist uns in seinen Einzelheiten noch völlig unbekannt; wir wissen aber, daß er nur im Licht und nur in den chlorophyllgrünen Teilen erfolgt, und daß bei den höheren Pflanzen Stärke als erstes sichtbares Produkt des Assimilationsprozesses auftritt. Das ist aber bereits ein sehr komplizierter Körper, dessen innerer Aufbau aus den Atomen des Kohlenstoffs, Wasserstoffs und Sauerstoffs uns ebenfalls noch nicht völlig bekannt ist, wir kennen nur das Verhältnis, in welchem diese drei Elemente in der Stärke enthalten sind. Das gleiche gilt von den verschiedenen Zuckerarten, die zu der Stärke zweifellos in nahen Beziehungen stehen und aus dieser in der Pflanze leicht entstehen können; die feste unlösliche Stärke ist nicht transportabel, nimmt aber einen geringen Raum ein, die Zuckerarten sind löslich und transportabel, beanspruchen aber im gelösten Zustande einen größeren Raum. Stärke wird deshalb in Zuckerarten umgewandelt, wenn eine Fortleitung der durch Assimilation gewonnenen Stoffe erfolgen soll, und umgekehrt kann der Zucker an Orten, wo diese Stoffe abgelagert werden, der Raumersparnis wegen von der Pflanze wieder in Stärke zurückverwandelt werden.

Die Zuckerarten stellen nun, wie angenommen wird, wieder den Ausgangspunkt für die Bildung der Eiweißkörper dar; das Rohmaterial für diesen wichtigsten Teil der lebendigen Substanz wird also zum größten Teil ebenfalls durch Assimilation gewonnen. Da aber nur grüne Pflanzen assimilieren und den Kohlenstoff in organische Form überzuführen vermögen, so ist auch alle organische Substanz, mag sie nun pflanzlichen oder tierischen Ursprungs sein, zuerst durch grüne Pflanzen aus den anorganischen Bausteinen aufgebaut worden. Tiere und die chlorophyllfreien Pflanzen verdanken ihre Körpersubstanz ausschließlich der Assimilationstätigkeit der grünen Pflanzen, wenn auch die Stoffe vom Chlorophyllkorn bis zur Muskelfaser eines Löwen mancherlei Wandlungen durchmachen mußten.

Die Gewinnung des Kohlenstoffs in organischer Form ist nun auch für die grünen Pflanzen keine ganz leichte Aufgabe, denn die Kohlensäure ist nur zu 0,03% in der Luft enthalten, also erst rund 3300 l Luft enthalten 1 l Kohlensäure, 6000 l Luft etwa $1\frac{3}{4}$ l Kohlensäure, und der in diesen $1\frac{3}{4}$ l enthaltene Kohlenstoff wiegt 1 g. Der trockene Pflanzenkörper besteht ungefähr zur Hälfte aus Kohlenstoff; ein einziges großes Haferfeld liefert aber viele Hunderte oder Tausende von Zentnern Stroh und Körner, also auch viele Hunderte von Zentnern gebundenen Kohlenstoff, welchen die Pflanzen während eines halben Jahres der Luft entziehen mußten. Solche enorme Mengen setzen bei dem geringen Gehalt der Luft an Kohlensäure eine sehr energische Tätigkeit der Pflanzen voraus, die nicht von allen Arten geleistet werden kann; auch unter den Pflanzen gibt

es faule Individuen, heruntergekommene Existenzen, die gern auf Kosten der fleißigen und tätigen Elemente leben und diese aussaugen. Oft hat auch der Mangel an Licht am Boden schattiger Waldungen das allmähliche Erlöschen der Assimilationstätigkeit verschuldet, und die Pflanzen ernähren sich dann schlecht und recht von den abgestorbenen organischen Resten, ohne andern Pflanzen nahezutreten. Es kommt auch der Fall vor, daß verschiedene Pflanzen gewissermaßen ein Tauschgeschäft miteinander machen; die einen liefern organische Stoffe und erhalten dafür Wasser und Salze wieder, kurz die Beziehungen der einzelnen Pflanzen untereinander und zu ihrer Ernährungsweise sind überaus mannigfaltig, und die Grenzen zwischen saprophytischer, parasitischer und symbiotischer Lebensweise lassen sich durchaus nicht überall scharf ziehen.

Wenn von normaler Ernährungsweise gesprochen wird, so versteht man darunter die der chlorophyllgrünen nicht parasitischen Pflanzen gegenüber den Parasiten und Saprophyten. Es gibt aber auch einige wenige Organismen, unter denen die Nitrit- und Nitratbildner die bekanntesten sind, die ohne Chlorophyll imstande sind, wie die grünen Pflanzen, den Kohlenstoff der Kohlensäure zu assimilieren. Die Tatsache ist zweifellos sichergestellt, aber über die Art und Weise der Kohlenstoffaneignung ist bisher nichts Zuverlässiges bekannt. Man könnte zunächst annehmen, daß sehr geringe Mengen Chlorophyll doch noch in den kleinen unter dem Mikroskop allerdings farblos erscheinenden Zellen enthalten seien, aber auch in den Massenkulturen, wo größere Zellenmengen übereinander lagern, ist nicht eine Spur von grüner Farbe erkennbar.

II. KAPITEL

Der Parasitismus

Unter Parasiten versteht man Organismen, welche die für ihr Leben notwendigen Stoffe ganz oder teilweise andern lebenden Wesen entziehen; dabei ist es gleichgültig, ob die Parasiten sich in oder auf dem Wirt entwickeln oder nur mit einzelnen Organen, Saugwurzeln, in ihn eindringen, im übrigen aber von ihm völlig getrennt sich entwickeln. Der Grad des Parasitismus ist ein überaus verschiedener; in seiner untersten Stufe sind es vielleicht nicht einmal organische Stoffe, die dem Wirt entzogen werden, der Gast verlangt in erster Linie ein Obdach, und man nennt eine solche Form des Parasitismus auch *Raumparasitismus*. Aus ihm haben sich vielleicht nach der einen Richtung hin wirklicher Parasitismus, nach der andern sybiotische Verhältnisse entwickelt, obwohl man auch bei letzteren wohl kaum jemals ein reines Gegenseitigkeitsverhältnis annehmen kann.

Als Beispiel für Raumparasitismus kann das eigenartige Zusammenleben von Algen mit höheren Pflanzen angeführt werden, so das zwischen *Anabaena Azollae* und *Azolla caroliniana*. Letztere ist ein zierliches kleines Wasserfarn, dessen Blätter einen an der Oberfläche schwimmenden und einen untergetauchten Teil besitzen.

In dem ersteren ist eine kleine Höhlung vorhanden mit sehr engen Ausführgang; durch ihn wandert die blaugrüne aus zarten Perlenketten bestehende Alge ein und erfüllt schließlich die ganze Höhlung, aber ohne der Pflanze zu schaden. Es ist kaum einmal ein älteres Blatt der *Azolla* zu treffen, das nicht von der Alge bewohnt wäre, während man andererseits die Alge auch wenig außerhalb der Azollablätter zu sehen bekommt. Man kennt auch keinerlei andere Beziehungen zwischen beiden; es ist kaum anzunehmen, daß die Alge irgendwelche Stoffe von dem Wasserfarn erhält oder umgekehrt, denn irgendeine Verwachsung oder ein Eindringen der Zellen der einen in oder zwischen die Zellen der andern findet nicht statt. Vielmehr dürfte die Alge tatsächlich nur den Raum ausnutzen, der ihr da zur Verfügung steht; sie ist anscheinend Schattenpflanze und verlangt Orte mit geringer Lichtintensität zu ihrer Entwicklung, kommt also vermutlich

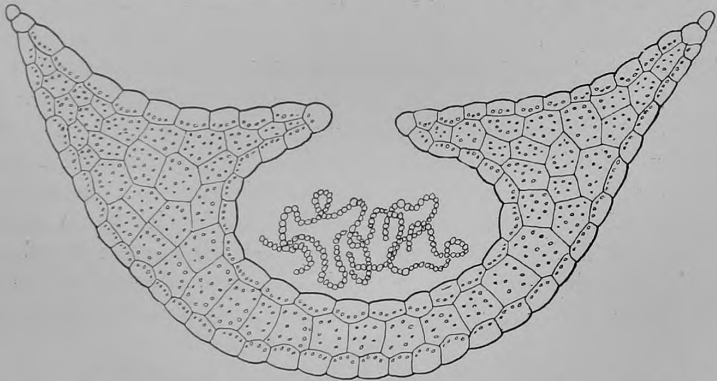


Fig. 142. Querschnitt durch das Blatt einer *Azolla* mit dem Hohlraum, in welchem sich einige Fäden von *Anabaena Azollae* befinden

außerhalb dieser Höhlen nicht gut zur Entwicklung und ist hier außerdem auch noch in weit höherem Grade dem Angriff von kleinen Feinden ausgesetzt. Jedenfalls wird aber die Einwanderung in die Azollahöhlen wohl nur durch die Anpassung an bestimmte Lichtintensität veranlaßt.

Schon erheblich anders müssen die Verhältnisse bei einigen andern Nostocaceen liegen, die in höheren Pflanzen leben, *Nostoc Gunnerae* in *Gunnera scabra*, *Anabaena Cycadeorum* in verschiedenen Cycadeen. Diese letztere Alge entwickelt sich in den großen Interzellularräumen der Rinde bis weit hinauf im Stamme; sie ist losgelöst von dem natürlichen Nährsubstrat, von Wasser und Boden und völlig vom Gewebe einer anderen Pflanze umschlossen. Und wenn sie auch keine organischen Stoffe dem Wirt entzieht, und noch selbst die Assimilation und die Bildung organischer Stoffe besorgen kann, so muß sie doch wenigstens Wasser und Salze von der Wirtspflanze erhalten. Schwerlich aber gibt sie dieser etwas dafür wieder, sie ist also kein reiner Raumparasit, sondern bildet schon einen Übergang zu wirklichem Parasitismus, indem sie der Pflanze Stoffe entzieht, die dieselbe noch selbst brauchen könnte.

Noch etwas weiter gehen einige parasitische Meeresalgen, die auf oder im Gewebe anderer Wasserpflanzen, besonders größerer Algen leben und diesen durch ihre Entwicklung, vielleicht auch schon durch Entziehung organischer Stoffe Schaden zufügen. Besonders unter den niederen Braunalgen (*Streblonema*, *Mikrosyphar* und andere Gattungen) gibt es nicht wenige Arten, deren verzweigte Zellfäden sich im Gewebe andrer Algen entwickeln, die Zellen der Wirtspflanze auseinanderdrängen und stellenweise zum Absterben bringen. Wodurch das letztere veranlaßt wird, ist freilich nicht ohne weiteres festzustellen, jedenfalls aber wird durch ihre Entwicklung die von ihnen bewohnte Pflanze merklich geschädigt.

Unter den höheren Pflanzen gibt es eine ganze Anzahl, die sich zwar zur Not selbständig erhalten können, es aber durchaus nicht verschmähen, anderen Pflanzen, wenn sich die Gelegenheit dazu bietet, Nährstoffe zu entziehen. Diese gelegentlichen Parasiten sind auch bei uns sehr verbreitet, und besonders unter den *Scrophulariaceen* zu suchen; *Wachtelweizen* (*Melampyrum*), *Augentrost* (*Euphrasia*), *Klappertopf* (*Rhinanthus*), *Läusekraut* (*Pedicularis*), *Bartschia* und noch einige

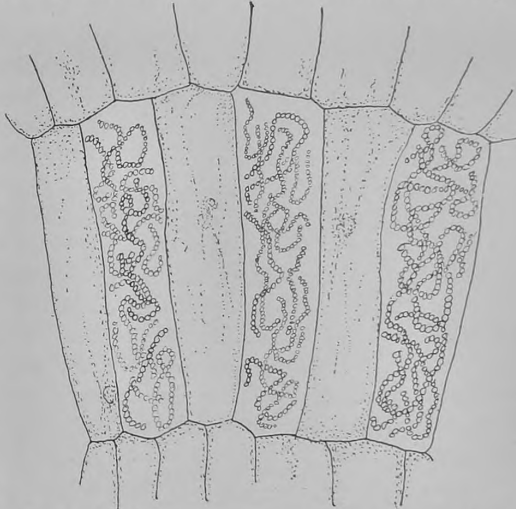


Fig. 145. Mit *Nostoc* gefüllte Interzellulargänge aus dem Stammgewebe einer Cycadee (*Encephalartos*)

andere sind solche Gelegenheitsparasiten, deren Wurzeln, wo sie mit denen anderer Pflanzen zusammenkommen, sich an letzteren mit Haftscheiben festsaugen und ihnen Nahrung entziehen. Alle in der Nähe solcher Parasiten wachsende Pflanzen, selbst schwächere Individuen derselben Art, werden angefallen und eines Teils ihrer Nährstoffe beraubt; der Parasit entwickelt sich dann üppiger, als wenn er sich durch eigene Kraft erhalten müßte.

Merkwürdig ist es, daß auch schon diese gelegentlichen Parasiten fast niemals rein chlorophyllgrün sind, sie zeigen vielmehr eine bleichere, oft rötlich- oder gelblichgrüne Färbung; der Assimilationsapparat hat also bereits eine Reduktion erfahren. Je mehr es ihnen gelingt, sich auf Kosten anderer Pflanzen zu ernähren, desto geringer wird der Chlorophyllgehalt. Die gleiche Erscheinung findet sich auch bei dem Bergflachs (*Thesium*) wieder, der in mehreren Arten auf Wiesen und Grashängen besonders im Gebirge vorkommt. Auch er ist ein Gelegenheitsparasit, dem aber bei seinem natürlichen Standort wohl nur selten einmal die Gelegenheit zu Parasitieren fehlen wird.

Er hat eine viel fahlere, gelblich graugrüne Farbe als die anderen Wiesenpflanzen.

Weit häufiger als unter den Blütenpflanzen finden sich gelegentliche Parasiten unter den Pilzen und namentlich unter den Bakterien. Beide Gruppen von Organismen sind ja wegen ihres Chlorophyllmangels von vornherein auf Ernährung durch organische Verbindungen angewiesen. Während der weitaus größere Teil beider aber seine Nahrung aus toten organischen Stoffen bezieht, kann der kleinere Teil nur lebenden Wesen seine Nahrung entnehmen und zwar oft nur aus ganz bestimmten Wirtsarten. Ein anderer Teil endlich lebt gewöhnlich von toten organischen Stoffen, vermag aber unter Umständen auch noch lebende Wesen zu befallen.

Auch da zeigen sich noch große Verschiedenheiten. Die meisten sogenannten Baumschwämme, wie der gewöhnliche Feuerschwamm (*Polyporus fomentarius*) und viele andere sind Wundparasiten, d. h. sie vermögen sich ursprünglich nicht im gesunden Gewebe des Baumes zu entwickeln, sondern nur in erkrankten oder abgestorbenen Teilen, in Wunden. Sind sie aber im Körper des Baumes erst einmal entwickelt, so dringen sie auch in die unverletzten, gesunden Teile des Stammes vor und vermögen die lebenden Zellen zu vernichten. Das gleiche ist bei dem Halimasch (*Agaricus melleus*) und bei verschiedenen Arten der Gattung *Nectria* der Fall. Letztere entwickeln sich, z. B. die *Nectria cinnabarina* zuerst ausnahmslos an schon abgestorbenen Ästen und können unter Umständen auch lange Jahre auf diese beschränkt bleiben; weiterhin aber wirken sie durch ausgeschiedene Stoffe giftig auf die noch lebenden Gewebe der Wirtspflanze und bringen dieselben stellenweise zum Absterben, dann können sie sich auch hier ausbreiten. Es ist eigentlich nicht Parasitismus im strengen Sinne, denn der Pilz bezieht keine Nährstoffe von der lebenden Pflanze, sondern nur von den toten Teilen derselben, aber er bewirkt doch eben durch seine giftigen Stoffwechselprodukte das Absterben derselben, und es kommt schließlich auf dasselbe heraus, ob er erst die Zellen der Wirtspflanze durch Entziehung von Stoffen zum Absterben bringt, oder ob er sie vorher tötet und dann aus ihnen seine Nahrung bezieht.

Bei den Bakterien ist die Zahl der Arten, welche sich sowohl parasitisch als saprophytisch ernähren können, eine sehr bedeutende. Alle Arten, die sich in künstlichen Kulturen züchten lassen, leben ja unter saprophytischen Bedingungen, sie können also wenigstens von toten organischen Stoffen leben, wenn ihnen das auch in der Natur oft kaum möglich sein dürfte. Denn hier werden sie vielfach den gewöhnlichen Fäulnisbakterien in der Ausnutzung der Lebensbedingungen unterliegen und von diesen überwuchert werden. Der Tuberkelbazillus stellt beispielsweise so hohe Anforderungen an Nährboden und Temperatur und wächst außerdem so langsam, daß er sich in der freien Natur wohl niemals außerhalb des tierischen Körpers entwickeln könnte. Wir sind berechtigt, solche Organismen als obligate Parasiten zu bezeichnen, auch wenn sie sich in künstlichen Kulturen züchten lassen, denn nicht darauf kommt es an, ob wir imstande sind, den Bakterien auch außerhalb des Tierkörpers geeignete Lebensbedingungen zu bieten

oder nicht, sondern darauf, ob Bakterien unter den gegebenen natürlichen Verhältnissen sich auch außerhalb des tierischen Körpers zu entwickeln vermögen — fakultative Parasiten — oder nicht.

Unter den Bakterien kennt man nur sehr wenig Arten, die sich nicht dauernd auf künstlichem toten Nährboden züchten lassen, z. B. den Organismus des Rückfalltyphus (*Spirochaete Obermeieri*), den Leprabazillus, dagegen zahlreiche Arten, die sich zwar künstlich züchten lassen, in der freien Natur aber kaum jemals außerhalb des tierischen Körpers ihre Lebensbedingungen finden und deshalb als obligate Parasiten zu bezeichnen sind, so den Influenzabazillus, den Organismus der Lungenentzündung, den Tuberkelbazillus. Noch häufiger sind aber Arten, die unter günstigen Bedingungen auch unter natürlichen Verhältnissen saprophytisch leben können, also gewissermaßen auch Gelegenheitsparasiten sind, dabei aber recht bösartige Epidemien herbeiführen können, so der Typhusbazillus, Milzbrandbazillus und in seiner ursprünglichen Heimat, im Gangesdelta, auch der Choleraabazillus. Ja es gibt sogar Arten, die unter normalen Verhältnissen überhaupt keine parasitischen Eigenschaften besitzen, aber unter uns zumeist noch unbekannten Umständen plötzlich eine bedrohliche parasitäre Angriffskraft erlangen. Das ist z. B. bei dem *Bacillus coli* der Fall, der ganz regelmäßig im menschlichen Darmkanal in großer Menge vorkommt und da ganz harmlos ist. Ebenso zweifellos ist es aber, daß er der hauptsächlichste Erreger der Cholera nostras ist, daß er also unter Umständen eine der asiatischen Cholera ähnliche und oft tödlich verlaufende Krankheit des Menschen auszulösen vermag.

Hier kennt man allerdings im allgemeinen die Ursachen dieser plötzlichen Aggressivität; wir wissen, daß er nur dann imstande ist, parasitisch zu wirken, wenn der Wirt, also hier der Mensch, durch irgendwelche Umstände, hauptsächlich durch Exzesse im Essen und Trinken, seine normale Widerstandsfähigkeit verloren hat. Die durch Überanstrengung geschwächten Zellen des Darmkanals können den sonst unschädlichen, weil zu unbedeutenden parasitischen Eigenschaften der Colibazillen nicht mehr widerstehen und gehen oft im Kampfe mit ihnen zugrunde.

Der *Bacillus coli* und die verschiedenen Beziehungen desselben zum Menschen bieten uns Gelegenheit, eine ganze Anzahl merkwürdige Erscheinungen des Parasitismus kennen zu lernen. Zunächst sehen wir, daß der Grad des Parasitismus ein überaus verschiedener sein kann, und daß auch ferner die Widerstandskraft eines Organismus gegenüber Parasiten eine bedeutende Rolle spielt. Die Widerstandskraft ist aber nicht immer gleich, sie kann zeitweise schwächer werden und dann vermag der Parasit sich auf Kosten des Wirtes zu entwickeln. Andererseits kann aber auch die Angriffskraft des Parasiten wachsen, z. B. dadurch, daß er mehrere Generationen hintereinander Gelegenheit hatte, parasitisch zu leben; es findet dann gewissermaßen eine Gewöhnung an parasitisches Leben statt, wie im umgekehrten Falle eine Gewöhnung an saprophytisches Leben stattfindet und damit eine Abnahme der parasitischen Fähigkeiten. Man bezeichnet nun ganz allgemein den Grad der parasitischen Angriffskraft eines Organismus als seine Virulenz; setzt der

angegriffene Organismus dem Parasiten einen unüberwindlichen Widerstand entgegen, so wird dieser Widerstand als Immunität bezeichnet, ist nur ein geringer oder überhaupt kein Widerstand vorhanden, so ist der angegriffene Organismus für den Parasiten disponiert.

Disposition, Immunität und Virulenz sind fortwährend wechselnde Größen und bei verschiedenen Organismen von vornherein von sehr ungleichem Wert. Nicht nur sind einzelne Arten von Anfang an immun gegenüber gewissen Parasiten (angeborene Immunität), wie der Mensch gegen Rauschbrand, das Pferd gegen asiatische Cholera, sondern es kann nach dem einmaligen Überstehen einer Krankheit auch eine kürzere oder längere Immunität (erworbene Immunität) gegenüber dieser Krankheit zurückbleiben (Scharlach, Masern, Pocken). Auch kann ein Organismus nur in einem gewissen Entwicklungsstadium für einen Parasiten disponiert sein, wie die Buche für *Peronospora omnivora* nur als Keimling, oder endlich örtliche oder zeitliche Momente können eine Disposition für einen bestimmten Parasiten herbeiführen (örtliche und zeitliche Disposition). Ebenso gibt es innerhalb ein und derselben Art Individuen, die ganz verschiedene Disposition gegenüber einem Parasiten besitzen, die einen können dem Angriff widerstehen, die andern erliegen ihm (individuelle Disposition und Immunität).

Die parasitische Lebensweise vieler Bakterien wird also in den meisten Fällen auch dadurch bestimmt werden, ob sie mit immunen oder disponierten Organismen zusammentreffen; ist das erstere der Fall, so werden sie sich, so weit ihnen das bei der Konkurrenz der rasch wachsenden reinen Saprophyten überhaupt möglich ist, auch ausschließlich saprophytisch ernähren müssen, bis einmal der Augenblick naht, wo sie Gelegenheit haben, ihre parasitischen Eigenschaften zu betätigen.

Bei den Pilzen sind viel mehr ausgesprochene Parasiten vorhanden, und die Anpassung an ganz bestimmte Verhältnisse hat hier zu überaus merkwürdigen Entwicklungsformen geführt. Sehr häufig tritt der Fall ein, daß ein Pilz nur auf einer einzigen Pflanzenart sich entwickeln kann und selbst auf nahe verwandten nicht fortkommt. Andererseits ist beispielsweise bei den Rostpilzen ein Wirtswechsel bei ein und derselben Pilzart eine ganz allgemeine Erscheinung und zwar so, daß der Pilz den ersten Teil seiner Entwicklung bis zur Aecidiosporenbildung auf einer ganz anderen, systematisch meist gar nicht verwandten Pflanzenart durchläuft, als den zweiten, die Uredo- und Teleutosporenbildung. Der schon in einem früheren Abschnitt erwähnte Getreiderost, *Puccinia graminis*, entwickelt nur seine Uredo- und Teleutoform auf den Blättern und Stengeln der Gräser, die Aecidiosporen dagegen auf den Blättern des Sauerdornes (*Berberis*). Man hat lange Zeit beide Pilzformen gekannt und als völlig verschieden betrachtet, erst durch schwierige und zeitraubende Untersuchungen wurde festgestellt, daß das Aecidium *Berberidis* in den Entwicklungskreis des Getreiderostes gehört. Ähnliche Fälle sind vielfach bekannt; kommt doch der Gitterrost der Birnbäume (*Gymnosporangium Sabinae*) nur mit seiner Aecidienform auf den Blättern des Birnbaumes vor, mit seiner Teleutoform auf dem Sadebaum (*Juniperus Sabina*). Der gefürchtete Blasenrost der Weymouthskiefer, *Peridermium strobi*, kommt in der Aecidienform auf *Pinus*

Strobus, in der Uredo- und Teleutoform auf Johannisbeeren (*Ribes rubrum* und *nigrum*) vor, und wird hier als *Cronartium ribicolum* bezeichnet. Auch hier wie überall bei diesen wirtswechselnden oder heteröcischen Rostpilzen hat man beide Entwicklungsformen für völlig verschiedene gehalten und sie in ganz verschiedene Gattungen verteilt, bis ihre Zusammengehörigkeit durch Kulturversuche festgestellt wurde.

Der Wirtswechsel der heteröcischen Rostpilze ist allerdings etwas so eigenartiges, daß ein Zusammenhang zwischen den einzelnen so ganz verschiedene Wirtspflanzen bewohnenden Formen unmöglich erwartet werden konnte. Auch heute ist dieser Zusammenhang noch durchaus nicht bei allen Rostpilzen ermittelt, und man kennt von vielen Arten nur die Teleutosporenform, von anderen nur die Aecidienform. Es gibt allerdings auch Rostpilze, bei denen anscheinend ein Teil der Entwicklung ausgefallen ist und die nur noch eine Sporenform entwickeln, so der Pilz des Fichtennadelrostes, *Chrysomyxa abietis*, welcher nur Teleutosporen bildet, aus denen im Frühjahr die Basidien mit je 4 Sporen hervorbrechen. Diese keimen direkt wieder auf den Fichtennadeln und erzeugen wieder den Fichtennadelrost. Der Pilz bewohnt also auch keinen Zwischenwirt, er ist autöcisch, wie es deren eine ganze Anzahl gibt. Sehr häufig findet man übrigens diese Reduktion der verschiedenen Sporenformen auf diese eine Teleutosporenform vereinigt mit Autöcie, so auch bei *Puccinia Malvacearum*, die ebenfalls nur in Teleutosporenform auf verschiedenen Malvenarten vorkommt, aber weder andere Sporenformen noch einen Zwischenwirt besitzt. Es ist, als wenn ein Teil des Entwicklungskreises zusammen mit dem Zwischenwirt ausgefallen wäre, und es ist bezeichnend, daß Rostpilze, bei denen Aecidio-, Uredo- und Teleutosporen vorhanden sind, in der weitaus größeren Mehrzahl zu den heteröcischen Arten gehören, während bei den autöcischen sehr häufig die eine oder andere Sporenform fehlt.

Die meisten Rostpilze sind auf einige oder wenige Wirtsarten beschränkt und kommen nicht auf andern vor; auch viele andere Pilze, so die zu den Ascomyceten gehörige *Taphrina Carpini*, die den Hexenbesen der Weißbuche hervorruft, sind an bestimmte Wirtspflanzen gebunden. Dagegen gibt es andere Pilze, die eine große Anzahl von Pflanzen befallen können, so *Albugo candida*, der zwar am liebsten auf dem Hirtentäschel (*Capsella bursa pastoris*) sich ansiedelt, wohl aber

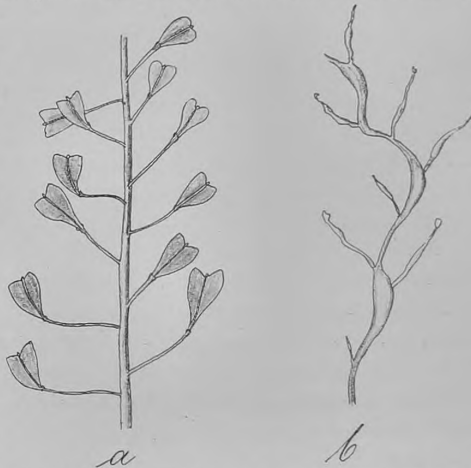


Fig. 144. Hirtentäschel (*Capsella Bursa pastoris*) a normal entwickelt, b durch *Albugo* deformiert

Die meisten Rostpilze sind auf einige oder wenige Wirtsarten beschränkt und kommen nicht auf andern vor; auch viele andere Pilze, so die zu den Ascomyceten gehörige *Taphrina Carpini*, die den Hexenbesen der Weißbuche hervorruft, sind an bestimmte Wirtspflanzen gebunden. Dagegen gibt es andere Pilze, die eine große Anzahl von Pflanzen befallen können, so *Albugo candida*, der zwar am liebsten auf dem Hirtentäschel (*Capsella bursa pastoris*) sich ansiedelt, wohl aber

auch auf allen anderen Kreuzblütlern vorkommt und gelegentlich auch einmal auf andern Pflanzen. Aber er vermag im allgemeinen nur in Keimpflanzen einzudringen und ruft dann während der Weiterentwicklung derselben eigentümliche Verkrümmungen und Verunstaltungen der Zweige und Stengel — weißer Rost — hervor. Auch die Blütenteile erleiden verschiedentliche Veränderungen, Vergrünung der Kronblätter, Vergrößerung und Verdickung aller Teile.

Unter den höheren Pflanzen gibt es nun auch eine ganze beträchtliche Zahl von obligaten Parasiten, d. h. Arten, die durchaus auf parasitische Lebensweise angewiesen sind. Von den bei uns heimischen seien die Mistel (*Viscum album*), die Teufelszwirnarten (*Cuscuta*), die Sommerwurzarten (*Orobanch*e) und die Schuppenwurz (*Lathraea squammaria*) genannt. Die meisten derselben besitzen überhaupt, wie die Pilze, kein Chlorophyll mehr, sind also gar nicht mehr imstande, organische Substanz zu bereiten. Die Mistel dagegen besitzt noch reichliche Mengen Chlorophyll in Stengel und Blättern und vermag bei ihrem langsamen Wachstum jedenfalls soviel Kohlehydrate zu produzieren, als sie selbst braucht. Sie wird deshalb, wenn sie nicht gerade in Unmassen vorhanden ist, den von ihr befallenen Wirtspflanzen nicht besonders schädlich, da sie der Hauptsache nach Wasser und Salze, allerdings damit auch die gelösten organischen Stoffe von ihrem Wirt bezieht; aber sie tötet das Gewebe nicht, welches sie mit ihren Saugwurzeln durchwuchert. Man hat Pflanzen, die einen Teil ihrer organischen Substanz noch durch Assimilation selbst produzieren können, als Halbparasiten bezeichnet, ein Name, der nur in gewissem Sinne zutreffend ist. Denn obwohl die Mistel noch organische Substanz selbst aufbaut, ist sie doch so vollständig Parasit, daß sie sich nicht anders als auf Holzgewächsen entwickeln kann. Ja selbst die Keimung der Samen erfolgt nur, wenn sie auf lebende Zweige oder Stämme von Holzgewächsen gelangen. Hier treibt sie dann ihre Wurzeln durch die Rinde bis in die Holzteile hinein, um sich festzuankern und Wasser und Nährstoffe aus der Pflanze zu beziehen. Ähnlich verhalten sich andere Lorantheen, so auch der schon in Südeuropa, nördlich noch bis Böhmen vordringende *Loranthus europaeus*, der nur auf Eichen vorkommt, während die Mistel auf sehr verschiedenen Laub- und Nadelhölzern lebt.

Von den andern erwähnten heimischen Parasiten sind *Lathraea* und die *Orobanch*e-Arten ausgesprochene Wurzelparasiten, d. h. sie legen sich mit ihren Wurzeln an die Wurzeln der Nährpflanzen an und treiben in diese Saugwurzeln, während sie sonst vollständig frei neben der Wirtspflanze wachsen. Chlorophyll aber besitzen sie nicht mehr, sind also völlig auf parasitische Ernährung angewiesen.

Die Gattung *Orobanch*e, Sommerwurz, kommt in einigen zwanzig Arten in Deutschland vor; die meisten sind aber sehr selten oder doch nur an ganz bestimmten Standorten gefunden, und jede ist wieder gewöhnlich an eine oder nur wenige Wirtspflanzen gebunden. Einige aber sind wenigstens in größeren Gebieten sehr verbreitet und können da, wo sie an Kulturpflanzen auftreten, recht böseartigen Schaden tun. Das ist z. B. mit *Orobanch*e *ramosa* der Fall, die den bezeichnenden Namen „Hanfwürger“ erhalten hat (Tafel 11). Sie kommt hauptsäch-



Stengel einer Tabakpflanze von zwei Pflanzen von *Orobancha ramosa* befallen, deren Wurzeln auf denen des Tabaks parasitieren



lich an Tabak und Hanf vor, und ist beispielsweise in Baden so allgemein verbreitet, daß auf den Tabakfeldern nach dem Abernten der Blätter fast an jedem einzelnen Tabakstengel ein oder einige der Schmarotzer aus der Erde mit ihren Blütschäften hervorbrechen. Die Blätter fehlen an diesen chlorophyllfreien Schmarotzern fast ganz, sie sind nur in Form kleiner Schüppchen entwickelt; sie sind ja auch überflüssig, da ihre wesentliche Aufgabe, die Assimilation, wegfällt. Die zahlreichen Blüten sind überaus zierlich blaßviolettblau oder fast weiß. Gräbt man vorsichtig eine Tabakspflanze mitsamt dem Parasiten aus und befreit die Wurzeln durch behutsames Schwenken in fließendem Wasser von aller Erde, so sieht man, daß die Wurzeln der Parasiten sich stellenweise an die der Tabakpflanze anlegen und durch vorgetriebene Verdickungen mit ihr verwachsen sind; das sind die Saugwurzeln, die in das Innere der Tabakwurzel eindringen und ihnen die Nährstoffe entziehen.

Die Schuppenwurz galt lange Zeit als ein harmloser Humusbewohner, aber schließlich stellte sich doch heraus, daß sie ein Wurzelparasit ist, der gern auf den Wurzeln der Haselnuß, auch der Buche schmarotzt und nebenbei auch noch Insektenfang betreibt. Sehr groß dürfte allerdings der Schaden, den die Pflanze dem befallenen Baume zufügt, nicht sein, da sie meist nicht in sehr großer Menge vorkommt und daher die von ihr aufgenommene Nahrung



Fig. 145. Saugwurzeln der *Orobanche ramosa* in die Wurzel einer Hanfpflanze eindringend

im Verhältnis zur Größe des Baumes kaum in Betracht kommt. Ihr Leben und ihre Entwicklung ist aber ganz eigenartig und weicht von den übrigen Schmarotzern unserer Heimat nicht unbeträchtlich ab. Die jungen auf der Erde keimenden Pflanzen senden zunächst Wurzeln in die Tiefe, die zuerst zart und dünn sind, sich reichlich verzweigen und gewissermaßen nach einer Nährpflanze suchen. Diese ganze Entwicklung findet noch auf Kosten der Reservestoffe des Samenkornes statt. Findet die Keimwurzel nicht bald eine passende Nährwurzel, so stirbt der Keimling schließlich ab, da seine Nährstoffe bald erschöpft sind und neue von dem chlorophyllfreien Keimling nicht gebildet werden können. Trifft sie aber auf die Wurzel eines geeigneten Laubholzes, so heftet sie sich zuerst mit kleinen, fast kugeligen Warzen fest. Die Warzen dehnen sich aus und wachsen heran, mit der Unterseite sich immer eng dem Substrat anschmiegend, nach oben sich in verschiedener Weise verdickend. Diese Entwicklung verdankt der Lathraeakeim aber schon den Nährstoffen, die er durch die Saugwarzen der Nährwurzel entzogen hat. Jetzt beginnt auch die Ausbildung eines unterirdischen, mit eigentümlichen, fleischigen Schuppenblättern besetzten Sproßsystems, welches ausdauert und nur alljährlich die eigentümlichen blaßrosa Blütschäfte über die Erde schickt. Mit der Zeit erreicht ein solches Sproßsystem bedeutende Ausdehnung, namentlich in die Tiefe vermag die Schuppenwurz weit ihre Wurzeln zu senden, und wenn man die ganzen

Pflanzen bis auf ihre Saugwurzeln verfolgen will, wird man oft metertief graben müssen.

Wesentlich anders verhält sich der Teufelszwirn, auch Seide genannt (*Cuscuta*), von denen besonders zwei Arten bekannt sind: *Cuscuta europaea* auf Nesseln, Hopfen, Hanf, Weiden schmarotzend, und *C. Epithymum*, deren

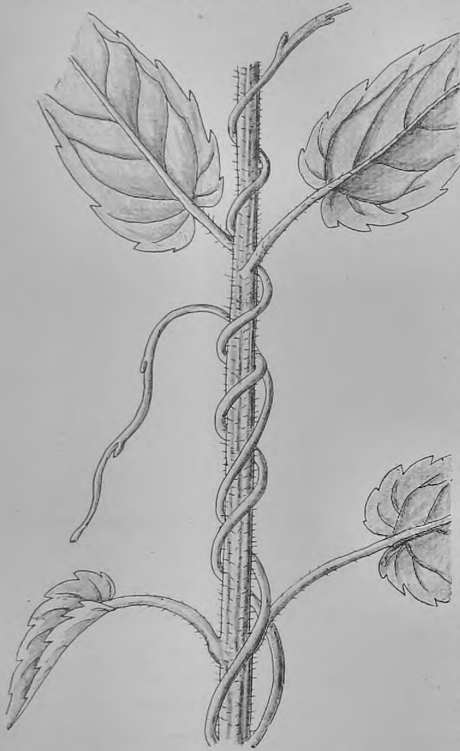


Fig. 146. *Cuscuta europaea* auf einer Brennessel schmarotzend

var. *Trifolii* als Kleeseide gefürchtet und verbreitet ist. Schon die Keimung ist eine eigenartige, und es ist bekannt, daß die Samenkörner teilweise mehrere Jahre im Boden ruhen können, ohne zu keimen. Die Mehrzahl der Samen keimt allerdings schon im nächsten Jahre, aber doch viel später als die anderer Pflanzen, so daß die jungen Keimlinge bereits eine mehr oder weniger weit entwickelte Flora vorfinden. Das ist für sie auch notwendig, denn wenn die aus dem Samen mitgebrachten Reservestoffe verbraucht sind, hört die weitere Entwicklung auf, sobald die Keime nur auf sich selbst angewiesen sind. Auch der Keimling ist von dem anderer Pflanzen verschieden, Keimblätter oder Wurzeln fehlen, er bildet nur einen dünnen Faden, dessen unteres kolbenförmig verdicktes Ende in die Erde dringt, während das obere, dünne, zunächst noch von der Samenschale bedeckte Ende frei in der Luft wächst, sich streckt und verschiedene

Krümmungsbewegungen ausführt. Bei diesen Krümmungen kommt der Keimling nun gewöhnlich mit irgendeinem Gegenstand in Berührung, um den er sich herumschlingen kann, und der ihm als Stütze dient. Ist die Stütze zugleich eine lebende Wirtspflanze, so ist damit seine weitere Entwicklung gesichert, er windet sich gewöhnlich in mehreren Schlingen um den Stengel der Wirtspflanze, und bildet Saugwurzeln aus, die in das Gewebe der befallenen Pflanze eindringen und nun aus ihr Nahrung beziehen. Ist aber die Stütze tot oder eine Pflanze, die nicht als Wirt dienen kann, z. B. ein Nadelholz, so wächst der Cuscutafaden ohne Saugwurzeln zu treiben, schräg ab, um möglichst bald zu einem andern Pflanzenstengel zu kommen, der das jetzt dringend werdende Nahrungsbedürfnis befriedigen kann.



Hexenbesen der Birke



Findet ein Cuscutakeimling keine passende Nährpflanze, und sind die mitgebrachten Reservestoffe erschöpft, so stellt er sein Wachstum ein, ohne aber zunächst abzusterben; er bewahrt vielmehr seine Lebensfähigkeit noch wochenlang, und sehr oft führt ihm dann das Wachstum anderer Pflanzen noch einen Stengel der ersehten Wirtspflanze zu, den er dann noch im letzten Augenblick anfallen kann. Geschieht dies nicht, so stirbt er nach einigen Wochen ab, denn die Seide ist völlig unfähig, sich selbst zu ernähren, und der ganze zur Assimilation dienende Apparat ist verschwunden. Die Blätter sind nur noch in Form von kleinen unscheinbaren Schüppchen angedeutet, und selbst die Spaltöffnungen fehlen, da ja ein Gasaustausch in dem Umfange, wie er bei der Kohlensäureassimilation notwendig wird, hier ganz überflüssig ist.

Hat die Seide erst einmal Saugwurzeln in die Nährpflanze getrieben, so geht die Entwicklung rasch vor sich; der fadenförmige Stengel verzweigt sich und sendet nach allen Richtungen hin Äste aus, die die Nachbarpflanzen ergreifen und eng umschlingen. Bald ist ein dichtes Gewirr von Fäden zwischen den Nährpflanzen gespannt, und diese selbst oft von vielen Ästen der Seide zugleich so dicht umwunden, daß man kaum etwas von ihren Stengeln sieht. Schwächere Pflanzen, wie Klee, vermögen diesem Parasiten überhaupt nicht zu widerstehen und gehen rasch zugrunde. Man sieht dann größere oder kleinere, wie ausgebrannte Flecke in den Kleefeldern, in denen nur noch die roten zwirnartigen Fäden der Kleeseide am Leben sind. Größere Pflanzen, Weiden, Hopfen, auch Brennesseln können sich länger erhalten, und wenn sie nicht zu stark befallen sind, auch am Leben erhalten, immer aber leiden sie schwer unter dem Parasiten.

Überaus vielgestaltig sind die tropischen Parasiten unter den höheren Pflanzen; zwei Familien, die Rafflesiaceen und die Balanophoraceen, enthalten nur Parasiten. Bei den ersteren ist bereits eine so starke Reduktion der vegetativen Teile eingetreten, daß man berechtigt wäre, von einem „Thallus“ zu sprechen, denn der Pflanzenkörper bildet eine formlose Zellmasse, in der weder Stamm noch Blätter noch Wurzeln erkennbar sind, und der ganz im Innern der Wirtspflanze verborgen lebt. Erst zur Blütezeit beginnt eine Differenzierung; die oft riesigen Blüten brechen aus dem Gewebe der Wirtspflanze hervor und entfalten sich an deren Oberfläche. *Rafflesia Arnoldi* besitzt Blüten, die bis 1 m Durchmesser erreichen und von keiner andern Blüte übertroffen werden. Die *Rafflesia*-arten leben hauptsächlich in den Wurzeln wilder Reben auf den Sunda-inseln und den Philippinen. Auch die andern Rafflesiaceen sind mit wenigen Ausnahmen Tropenbewohner, nur eine, *Cytinus Hypocistis*, kommt auf den Wurzeln der Cistosen im Mittelmeergebiet vor.

Der Parasit selber zeigt, wie aus den oben angeführten Beispielen hervorgeht, eine Veränderung in seinem Bau infolge der parasitischen Lebensweise; der Pflanzenkörper wird einfacher, viele Funktionen und die damit in Beziehung stehenden Organe fallen fort oder verkümmern doch, und diese Reduktionen treten um so mehr hervor, je ausgeprägter der Parasitismus auftritt. Die erste Tätigkeit, die unter dem Einfluß der parasitischen Lebensweise leidet, ist naturgemäß die

Assimilation, und damit wird der Chlorophyllapparat und die Hauptträger der Assimilation, die Blätter, in Mitleidenschaft gezogen. Das frische Chlorophyllgrün macht zuerst einem blässeren Farbenton Platz, ohne daß zunächst die Blattspreite reduziert wird. Das sehen wir namentlich an den Gelegenheitsparasiten, die ja allerdings fast stets Gelegenheit zu parasitischer Betätigung finden. Dann erst beginnt eine Reduktion der Blätter, die bei *Orobanche* und *Cuscuta* so weit geht, daß nur noch schuppenförmige Reste übrig geblieben sind. Das Chlorophyll ist vollständig verschwunden, und auch der Spaltöffnungsapparat ist unterdrückt. Am weitesten vorgeschritten ist die Reduktion des vegetativen Pflanzenkörpers bei den *Rafflesiaceen*, die überhaupt erst zur Blütezeit eine deutliche Differenzierung in einzelne Organe zeigen. Bei der Gattung *Rafflesia* bildet der Parasitenkörper formlose Zellkomplexe, bei der zu derselben Familie gehörenden Gattung *Pilostyles* besteht er aus pilzmycelartigen Zellsträngen, die sonst ebenfalls keine weitere Differenzierung besitzen. Gerade bei diesen Gruppen ist aber der Parasitismus in der vollendetsten Form entwickelt, da der ganze Körper des Schmarotzers, mit Ausnahme der Blüte, sich im Innern der Wirtspflanze entwickelt. Es findet also, je weiter die Ausbildung einer Blütenpflanze in bezug auf Parasitismus fortschreitet, um so mehr eine Reduktion der vegetativen Ausgestaltung des Körpers statt.

Bei den Pilzen verläuft die Reduktion nach einer andern Richtung hin; hier kommt allerdings nicht bloß der Parasitismus, sondern auch gleichzeitig die saprophytische Ernährung zur Geltung, denn Parasiten und Saprophyten sind unter den Pilzen oft in ein und derselben Gattung vereinigt, so daß beide Lebensweisen in gleicher Weise an den Reduktionsvorgängen beteiligt sein dürften. Bei den Pilzen ist der allmähliche Verlust der geschlechtlichen Fortpflanzung die augenfälligste Erscheinung der Reduktion; die den Algen noch am nächsten stehenden *Phycomyceten* besitzen wenigstens noch zum Teil eine ausgesprochen geschlechtliche Fortpflanzung, bei den *Ascomyceten* ist sie nur noch in wenig Fällen deutlich erkennbar, und den am höchsten stehenden Pilzen, den *Basidiomyceten* ist sie gänzlich verloren gegangen. Dafür tritt die ungeschlechtliche Fortpflanzung in einer großen Zahl von Formen auf, oft bei ein und derselben Art, und offenbar hat jede der verschiedenen Sporenformen für die parasitische oder saprophytische Lebensweise der Pilze eine bestimmte Bedeutung.

Die Wirtspflanzen selbst haben natürlich mehr oder weniger unter den Parasiten zu leiden, aber die Wirkung der Parasiten ist doch eine ganz ungleichmäßige. Manche Schmarotzer schädigen die Pflanze, auf der sie vorkommen, kaum merklich; so beispielsweise das auf den Blättern des Ahorns alljährlich massenhaft auftretende und große schwarze Flecken bildende *Rhytisma acerinum*, das wohl die Assimilationsfähigkeit der Blätter etwas herabsetzt, aber das Leben der Pflanze durchaus nicht bedroht und im allgemeinen auch kein merkliches Kümmeren der Ahornbäume herbeiführt. Ebenso sind viele Pilze ziemlich unschuldiger Natur, besonders eine Anzahl der auf Blättern schmarotzenden. Andere wieder bedingen ein rascheres oder langsames Absterben der Pflanze; der schon erwähnte Blasenrost der Weymouthskiefer *Cronartium ribicolum* schadet den Ribesarten in seiner

Uredo- und Teleutosporenform gewöhnlich ebenfalls nicht bedeutend, die Aecidienform auf *Pinus Strobus* bedingt aber sicher ein Eingehen der jungen *Weymouthskiefern*.

Merkwürdig ist die Veränderung, die manche Wirtspflanzen, in ihrer Gestalt durch Parasiten erfahren. Auf der gewöhnlichen zypressenblättrigen Wolfsmilch (*Euphorbia Cyparissias*), die fast überall häufig oder selbst gemein ist, kommt ein Rostpilz — *Aecidium Euphorbiae* — vor, dessen Uredo- und Teleutosporen auf verschiedenen *Vicia*-, *Pisum*- und *Lathyrus*arten vorkommen und hier als



Fig. 147. *Euphorbia Cyparissias*, gesunde Pflanze

Uromyces Pisi bezeichnet werden (Fig. 147 und 148). Eine von der Aecidienform des *Uromyces Pisi* befallene Wolfsmilch hat einen ganz andern Habitus als die nicht befallene, und man möchte beide kaum für die gleiche Art halten. Die Pflanze sieht bleicher aus, als wenn sie im Dunkeln erwachsen wäre, die Blätter sind kürzer und stehen weiter voneinander entfernt, sind dicker und tragen auf der Unterseite die orangegelben Aecidien, vorher die Spermogonien. Der Stengel verzweigt sich nur äußerst selten und kommt fast niemals zur Blüte.

Besonders merkwürdige Veränderungen an der Wirtspflanze rufen die Arten der Gattung *Taphrina* (*Exoascus*) hervor. Ganz allgemein verbreitet ist die Kräuselkrankheit der Pfirsichblätter, die durch *Taphrina deformans* herbeigeführt wird:



Fig. 148. *Euphorbia Ciparissias* mit *Acidiurn Euphorbiae*

Die Blätter kräuseln und krümmen sich in verschiedener Weise, werden an einzelnen Stellen aufgebeult und rot und überziehen sich schließlich mit einer weißen zarten flaumigen Schicht, in welcher die Sporen gebildet werden. Eine andere Art, *Taphrina Pruni*, gibt zur Bildung der sogenannten Narren oder Taschen der Pflaumen Veranlassung. Hier befällt der Pilz die jungen Fruchtknoten und veranlaßt eine Wucherung derselben, während Kern und Steinschale verkümmern. Mit der Wucherung sind eigentümliche Verzerrungen verbunden, die den oft ziemlich groß werdenden und bis zum Herbst hängenbleibenden Früchten die wunderlichsten Gestalten — Narren oder Taschen — geben. Das Mycel des Pilzes überwintert in den Zweigen, die ebenfalls zuweilen verkrümmt und aufgetrieben werden, und vermag so jahrelang nacheinander wieder die Krankheit zu erzeugen.

Verschiedene andere *Taphrina*arten rufen die Bildung von Hexenbesen an Bäumen hervor, die, wenn sie in größerer Zahl vorkommen, dem Baume ein ganz merkwürdiges Aussehen geben können. Durch die Reizwirkung des Parasiten kommt es nämlich an den befallenen Stellen der Bäume zu einer lebhaften Zweigbildung; immer neue Knospen werden angelegt und treiben aus, so daß schließlich die Zweige so dicht gedrängt, wie in einem Besen stehen können. *Taphrina Carpini* ruft auf der Hainbuche überaus dichte Hexenbesen hervor, die bis zu 1 m Durchmesser erreichen können. *Taphrina betulina* bildet auf Birken Hexenbesen von allerdings geringerem Durchmesser, die aber trotzdem, besonders wenn sie in größerer Zahl vorhanden sind, dem Baum ein ganz eigenartiges Aussehen verleihen; sie treten hauptsächlich in unbelaubtem Zustande deutlich hervor und sehen aus wie zurückgebliebene und vom Winde etwas zerzauste Amselnester.



Fig. 149. Narren oder Taschen der Pflaume

Aber nicht alle Hexenbesen werden durch *Taphrina*arten veranlaßt. Auf der Weißtanne ist eine Wucherung von oft sehr beträchtlichen Dimensionen vorhanden, die von einem Rostpilz (*Aecidium elatinum*) herrührt. Der Pilz kommt in seiner Teleutosporenform auf verschiedenen Nelkengewächsen vor und führt den Namen *Melampsorella Caryophyllacearum*; die Zusammengehörigkeit dieser Art mit dem auf der Weißtanne vorkommenden *Aecidium* ist erst spät sichergestellt worden. Die Hexenbesen der Weißtanne zeichnen sich ebenfalls durch



Reich mit Misteln besetzter Ahorn



reichliche Zweigbildung aus; die Zweige, soweit sie vom Pilz infiziert sind, haben aber ein ganz anderes Aussehen und erinnern in ihrem Verhältnis zu den gesunden Zweigen ganz an die von *Uromyces Pisi* befallenen Wolfsmilchpflanzen. Die Nadeln stehen entfernter und allseitig um den Zweig, bleiben aber viel kleiner und tragen auf der Unterseite die gelben Aecidien. Einzelne Hexenbesen der Weißtanne, die ebenfalls im Zweig perennieren, können eine beträchtliche Größe und



Fig. 150. *Acidium elatinum*, Hexenbesen der Weißtanne

einen Durchmesser von über 1 m erreichen. Gleichzeitig wird auch der Ast an der infizierten Stelle aufgetrieben und zeigt krebsartige Wucherungen, weshalb die Krankheit auch vielfach als Weißtannenkrebs bezeichnet wird.

Auch die Mistel gehört zu den Schmarotzern, die unter Umständen zu einer merklichen Deformation der Wirtspflanze beitragen können. Unweit Eisenach, bei Madelungen, steht eine alte Linde auf der Höhe eines Bergzuges, die eine große Menge eigentümlicher Anschwellungen und Verkrüppelungen zeigt. Dieselben sind durch Misteln hervorgerufen worden, von denen allerdings in den Anschwellungen meist nur noch Reste vorhanden sind. Ob die Misteln absichtlich einmal in früherer Zeit entfernt worden sind, ließ sich nicht in Erfahrung bringen, nur

in einigen der Anschwellungen befanden sich noch lebende Individuen, in den meisten waren nur noch Stümpfe vorhanden. Die Anschwellungen selbst aber erreichen oft die dreifache Dicke des Zweiges und geben dem sonst schön gewachsenen Baum bei ihrer großen Zahl ein merkwürdig verkrüppeltes Aussehen.

III. KAPITEL

Die Saprophyten

Als Saprophyten bezeichnet man alle Pflanzen, die zwar wie die Parasiten nicht imstande sind, ihre organischen Baustoffe selbst aus anorganischen zu bereiten, aber ihre Nahrung nicht lebenden Organismen sondern toten Pflanzenteilen oder tierischen Stoffen entnehmen. Wir finden solche Saprophyten wieder hauptsächlich unter den Bakterien, Pilzen und Phanerogamen. Oft ist, wie schon erwähnt, eine scharfe Grenze zwischen Saprophyten und Parasiten nicht zu ziehen, es gibt namentlich viele Bakterien, die sich unter geeigneten Umständen ebenso gut saprophytisch, wie parasitisch ernähren können, und selbst unter den Blütenpflanzen gibt es Arten, die beide Lebensweisen vereinigen, so der Wachtelweizen (*Melampyrum*) der, wo ihm Gelegenheit geboten wird, mit seinen Wurzeln diejenigen anderer Pflanzen anfällt, sich aber auch aus dem umgebenden Humus mit Nährstoffen versorgt, und wenn ihm auch dieser fehlt, wenn auch kümmerlich sein Leben durch eigene assimilatorische Tätigkeit fristen kann.

Die Bedingungen, welche die einzelnen Saprophyten verlangen, sind ebenfalls recht verschieden; wie die Parasiten sind viele an ganz bestimmte organische Nährstoffe gebunden und können sich nicht entwickeln, wenn ihnen diese fehlen. Das gilt besonders von den Bakterien, deren zersetzende Tätigkeit eine überaus verschiedene ist. Freilich gibt es auch Arten, die in bezug auf die Nährstoffe wenig wählerisch sind und die weitaus meisten zersetzbaren organischen Verbindungen als Nahrung verwenden können. Auch die Zersetzungen, die von den einzelnen Arten hervorgerufen werden, sind ebenso wie die entstehenden Endprodukte überaus verschiedenartiger Natur, und sicher ganz verschieden von den Zersetzungen, welche durch saprophytische Blütenpflanzen bewirkt werden. Man bezeichnet nun alle durch Mikroorganismen bewirkten chemischen Prozesse als Gärungen im weitesten Sinne, und unterscheidet dabei noch Fäulnis als einen Prozeß, bei welchem dem Menschen unerwünschte, Gärung im engeren Sinne als einen Prozeß, bei welchem dem Menschen erwünschte Produkte entstehen. Auch Verwesung, Verrottung usw. sind nur Formen der Gärung, die aber viel weniger den Prozeß selber betreffen, als die äußere Beschaffenheit der dabei entstandenen Produkte.

Die Gärungsprozesse selbst sind überaus verschiedenartig; wir unterscheiden nach den dabei entstehenden hauptsächlichsten Produkten, Alkoholgärung, Buttersäure-, Milchsäure-, Essigsäure-, Methangärung usw.; auch nach der Beschaffenheit der vergärenden Stoffe bezeichnet man die Gärung bisweilen, z. B. Cellulosegärung. Alle diese Gärungen werden nicht etwa durch beliebige Bakterienarten

bewirkt, sondern durch eine beschränkte, oft sehr geringe Anzahl von Arten; für die Cellulosegärung ist beispielsweise bisher überhaupt nur eine Art mit Sicherheit als Erreger festgestellt worden.

Das Leben der Saprophyten ist deshalb oft an ganz bestimmte Verhältnisse gebunden und ihre Entwicklung ist abhängig von Bedingungen, die sich nicht überall und zu allen Zeiten finden, sondern erst vielfach durch die Tätigkeit anderer Organismen herbeigeführt werden. Ein Beispiel für die gegenseitige Abhängigkeit der Saprophyten voneinander mögen die in der Milch vor sich gehenden Zersetzungsprozesse geben.

Die Milch enthält neben Wasser, Eiweißstoffen und Fett auch eine beträchtliche Menge von vergärbarem Milchzucker, der von den Milchsäurebakterien in Milchsäure und Kohlensäure zerlegt wird. Sie enthält daneben aber auch Sauerstoff, der nach und nach von den Milchsäurebakterien verbraucht wird. Ist dies geschehen, so vermögen sich die meist Luft bedürftigen Arten der Milchsäurebakterien nur in den obersten Schichten lebhaft weiter zu entwickeln, soweit Sauerstoff von der Luft eindringt; tief wird er allerdings eben deshalb nicht eindringen, weil er schon in den oberen Schichten von den Bakterien verbraucht wird. Die unteren Schichten der Milch werden also sauerstofffrei und bleiben es auch, so lange in den oberen eine Entwicklung sauerstoffbedürftiger Bakterien stattfindet. Hierdurch ist aber gerade die wichtigste Lebensbedingung für eine eigenartige Gruppe von Bakterien gegeben, für die obligat anaeroben Arten, die sich nur bei völligem Abschluß von Sauerstoff zu entwickeln vermögen. Es sind dies hauptsächlich Buttersäurebakterien, die den vorhandenen Milchzucker nicht in Milchsäure, sondern in Buttersäure und eine Anzahl Nebenprodukte verschiedener Art zerlegen. Ihre Keime finden sich ebenfalls fast stets in der Milch, sie kommen aber erst zur Entwicklung, wenn der Nährboden durch die Milchsäurebakterien sauerstofffrei gemacht worden ist, also unter normalen Verhältnissen stets einige Tage später als die letzteren. Die saure Milch nimmt deshalb auch, wenn sie schon mehrere Tage geronnen ist, einen eigentümlichen unangenehmen Geschmack an, der hauptsächlich den Buttersäurebakterien zuzuschreiben ist. Kocht man Milch ab, so werden die wenig widerstandsfähigen, nicht Sporen bildenden Milchsäurebakterien vernichtet, während die sehr resistenten Sporen der Buttersäurebildner erhalten bleiben und nun auch keimen und sich entwickeln können, da der Sauerstoff durch das Kochen aus der Milch ausgetrieben ist.

So lösen sich bei der Zersetzung organischer Substanzen eine ganze Reihe verschiedener Prozesse ab; es erfolgt ein sukzessiver Abbau der oft hochkomplizierten Verbindungen, bis schließlich wieder anorganische Endprodukte — hauptsächlich Kohlensäure, Wasser und Ammoniak entstehen, also Substanzen, die von den grünen Pflanzen wieder aufgenommen werden und von neuem in den Kreislauf des Lebens eintreten. Die Bedeutung der Saprophyten im Haushalt der Natur ist deshalb eine ungeheuer große, indem sie die Aufspeicherung wichtiger Elemente in Form von unzugänglichen Verbindungen verhindern und für die grünen Pflanzen immer wieder neue Nahrung schaffen. Das ist ganz besonders in bezug auf die Stickstoffverbindungen der Fall, die im Boden zwar in sehr verschiedener

Form, aber durchaus nicht in großer Menge enthalten sind. Die grüne Pflanze kann aber weder den elementaren Stickstoff der Atmosphäre noch auch den beispielsweise in tierischen oder pflanzlichen Resten abgelagerten, organisch gebundenen Stickstoff verwerten, sie kann ihn nur in Form von anorganischen Verbindungen hauptsächlich als salpetersaure Salze aufnehmen. Die Menge dieser Salze im Boden ist aber eine sehr geringe und würde sehr bald verbraucht sein, wenn nicht eine fortwährende Neubildung stattfände. Zu einem sehr geringen Teil geschieht dies bei Gewittern; elektrische Entladungen haben Bildung von Salpetersäure im Gefolge, die vom Regen aus der Luft ausgewaschen und dem Boden zugeführt wird. Der weitaus größere Teil der salpetersauren Salze wird aber von Bakterien durch eine Kette von ineinandergreifenden Prozessen aus den stickstoffhaltigen toten organischen Stoffen gebildet.

Das Anfangsglied dieser Kette ist die Fäulnis der Eiweißkörper, die ja als Hauptvertreter der organischen Stickstoffverbindungen anzusehen sind. Sie kann durch eine sehr große Zahl von Bakterien bewirkt werden, ja eigentlich, wenn wir einige kleine, biologisch abseits stehende Gruppen ausnehmen, durch alle. Aber gerade bei der Eiweißzersetzung zeigt sich die enorme Vielseitigkeit der Prozesse und die so ungleichen Eigenschaften der einzelnen Bakterienarten. Die Eiweißstoffe besitzen durchweg hochkomplizierte Moleküle, die gewissermaßen ganze Gruppen von Verbindungen darstellen. Viele Bakterien vermögen nun nur die eine oder andere Verbindung der Gruppe anzugreifen und zu zersetzen; der übrigbleibende Rest ist dann natürlich ganz verschieden, je nachdem dieser oder jener Komponente zerlegt worden ist. In ähnlicher Weise werden diese Reste immer weiter abgebaut, bis schließlich als stickstoffführender Rest das Ammoniak übrig bleibt. Soweit wirkt die abbauende Tätigkeit der Fäulnisbakterien.

Das zweite Stadium in dem Kreislauf des Stickstoffs wird durch die Nitritbildner, durch Oxydation des Ammoniaks zu salpetriger Säure repräsentiert. Sobald nämlich alle löslichen organischen Stoffe zersetzt und in anorganische Verbindungen übergeführt sind, treten kleine Bakterien besonderer Art in Tätigkeit, die die Ammoniakverbindungen in salpetrigsaure Salze überführen. Die Oxydation liefert ihnen die Energiequelle für andere Lebensprozesse. Schließlich, als drittes Stadium ist Umwandlung der salpetrigsauren Salze oder Nitrite in salpetersaure Salze oder Nitrate durch die Nitratbildner ein Glied im Kreislauf des Stickstoffs; auch hier sind es Bakterien, die diese Oxydation bewirken, die Nitratbildner. Nitrate aber werden wieder von den grünen Pflanzen aufgenommen und zur Bildung der Eiweißkörper verwendet. Pilze und Bakterien leisten deshalb mit ihrer zerstörenden Tätigkeit der Gesamtheit der Organismen durchaus notwendige Dienste; ohne sie wären die wichtigsten Stoffe für den Aufbau organischer Substanzen längst verbraucht und das Leben auf der Erde erloschen.

Etwas anders stellt sich das Leben der chlorophyllfreien Humusbewohner unter den Blütenpflanzen dar, zu denen bei uns hauptsächlich einige Orchideen wie die Nestwurz (*Neottia Nidus avis*) und die Korallenwurz (*Corallorhiza innata*) gehören, außerdem auch noch der in manchen Wäldern, namentlich auf Kalk ver-

breitete Fichtenspargel (*Monotropa Hypopitys*). Letzterem sagt man, allerdings mit Unrecht nach, daß er auch parasitische Gelüste habe und gelegentlich die Wurzeln von Fichten anfalle, was bei den genannten Orchideen jedenfalls nicht der Fall ist, weil sie überhaupt gar keine Wurzeln haben. Der Stamm ist am Grunde vielmehr selbst wurzel- oder korallenartig verzweigt und vermag mit der ganzen Oberfläche oder besonders vorgestülpten Zellen Nahrung aus dem umgebenden Humus aufzunehmen oder aber sie werden (vgl. folgendes Kapitel) durch Pilze ernährt. Natürlich sind diese Pflanzen auch auf organische Nahrung angewiesen, da ihnen das Chlorophyll fehlt. Sie saugen daher die löslichen organischen Stoffe des in Zersetzung begriffenen Humus aus und scheiden wohl auch selbst Stoffe ab, die lösend auf die organischen Reste wirken. Auch manche chlorophyllhaltige Pflanzen sind typische Humusbewohner und leben zum Teil von den im Humus gespeicherten Stoffen, wie *Bartschia alpina*, *Circaea alpina* und einige Arten des Wachtelweizens (*Melampyrum*): vielleicht bezieht auch die speziell auf Rohhumus lebende *Trientalis europaea* einen Teil ihrer Nahrung in organischer Form.

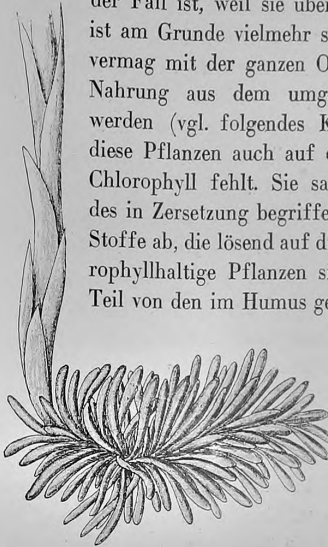


Fig. 151. Wurzelstock von *Neottia Nidus avis*

barbare *Tetraphis* (Georgia) *pellucida* fast ausschließlich auf morschem Holz oder aus solchem entstandenem Humos vor, die *Splachnum*arten auf Kuhexkrementen, und einige verwandte Moosarten auf anderen tierischen Exkrementen; so siedelt sich *Tayloria Rudolfiana* nur an den Stellen auf Bäumen an, wo Exkremente von Eulen oder andern Raubvögeln ein ihr günstiges Substrat geschaffen haben.

IV. KAPITEL

Die Mykorrhiza

Untersucht man die feinen Wurzeln von verschiedenen Kupuliferen oder verschiedenen Nadelhölzern, z. B. Fichten, in dünnen Schnitten unter dem Mikroskop, so findet man das eigentliche Gewebe der Wurzel von einem dichten Filz feiner Zellfäden umgeben, welche anscheinend in unmittelbarem Zusammenhange mit der Pflanzenwurzel stehen. Das ist aber nicht der Fall; die Fäden gehören vielmehr dem Mycel eines Pilzes an, welcher in einem sehr engen Verhältnis zu der Wurzel des Baumes steht. Man nennt diese Pilzbildungen Mykorrhiza und unterscheidet *ectotrophe* und *endotrophe*; bei der ersteren dringt der Pilz nicht oder nur stellenweise in das Wurzelgewebe ein, umhüllt die Wurzel vielmehr in der angegebenen Weise, bei der letzteren entwickelt sich der Pilz im Gegenteil

hauptsächlich in gewissen Schichten des Wurzelgewebes selbst und steht nur durch einzelne Hyphen oder Hyphenknäuel mit der Außenwelt in Verbindung.

Bei Eichen, Buchen und auch bei manchen Nadelhölzern scheint sich die Wurzel bereits so sehr an die Vereinigung mit dem Pilz gewöhnt zu haben, daß sie in der normalen Tätigkeit, Aufnahme von Wasser und Bodensalzen, schon eine gewisse Reduktion erfahren hat. Durch die Untersuchungen von Frank stellte sich nämlich heraus, daß diese Pflanzen nur dann gut gedeihen, wenn ihre Wurzeln von Pilzen umspinnen sind; sie kümmern dagegen auch in gutem Boden, wenn sie aus Samen erzogen und in einem von Mykorrhizapilzen freien Substrat kultiviert werden.

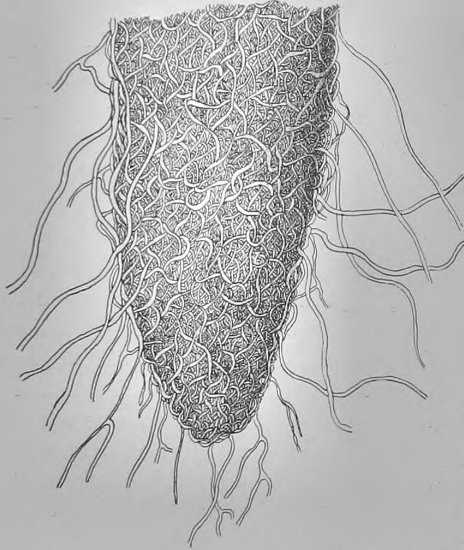


Fig. 152. *Mykorrhiza* an der Spitze einer Buchenwurzel

Aus diesem Befunde geht zweifellos hervor, daß die Mykorrhizabildung für diese Pflanzen eine durchaus günstige Erscheinung ist, und daß es sich keineswegs um Parasitismus handeln kann. Der Pilz muß bei der Ernährung der Pflanze eine Rolle spielen, und da er die Wurzeln vollständig umhüllt und von dem Erdboden vollständig abschließt, so muß er die Rolle der Wurzelhaare übernehmen und der Pflanze Wasser und die in ihm gelösten Salze zuführen. Die saprophytischen Humusbewohner erhalten jedenfalls auch noch organische Stoffe zugeführt, da sie ja solche nicht selbst aus dem anorganischen Material bilden können.

Jedenfalls spielt aber der Pilz nicht einseitig die Rolle des Pflanzenernährers, sondern er wird auch von der Pflanze eine Gegenleistung verlangen, und diese wird in fertig gebildeten organischen Stoffen bestehen. Insofern würde das Verhältnis zwischen beiden in das Gebiet der Symbiose gehören, aber wir haben bis jetzt noch keinerlei feste Anhaltspunkte dafür, wie weit die Leistungen der einzelnen Komponenten dieser Gemeinschaft reichen; vorläufig tritt das Bild der Ernährung höherer Pflanzen mit Hilfe von Pilzen in den Vordergrund.

Wurzeln mit reicher Mykorrhizabildung erscheinen im allgemeinen kürzer und dicker, reichlicher, oft fast korallenartig, verzweigt, als mykorrhizafreie. Die Fäden des Pilzes umgeben in dichtem Geflecht, stellenweise zwischen die Epidermiszellen der Wurzel eindringend, selbst die jüngsten Teile der letzteren und wachsen mit der Wurzelspitze weiter. Nach außen zu lösen sie sich in einzelne dickere Fadenbündel auf, die von der Wurzel abgehen und sich im Boden verlieren; oft auch gehen die Fäden einzeln, ohne in Bündel vereinigt zu sein, von

dem Filz aus in den Boden ab. Die feinen Fäden dringen ebenso gut zwischen die kleinsten Bodenpartikelchen ein, wie die Wurzelhaare, und vermögen diese jedenfalls vollständig zu ersetzen.

In den meisten Fällen ist es nicht möglich, die Pilzart, zu welcher die Mykorrhiza gehört, zu erkennen, weil letztere sehr selten einmal mit den Fruchtkörpern des Pilzes in nachweisbarem Zusammenhange gefunden wird; indessen ist bei verschiedenen Trüffeln, einigen Arten der Gattungen *Agaricus*, *Amanita*, *Russula*, *Cortinarius*, *Geaster* und *Lactarius*, also systematisch weit auseinander stehenden Formen, der Nachweis der Mykorrhizenbildung gelungen. Sie alle sind Bewohner unserer Wälder und speziell der Humusschichten, die sie zersetzen, und deren für die Pflanzen wichtige Stoffe sie diesen zuführen. Dabei nimmt man an, daß es hauptsächlich die stickstoffhaltigen Substanzen sind, die sie dem Humus entziehen und, ohne dieselben in Ammoniak zerlegt zu haben, den grünen Pflanzen wieder zugänglich machen. Das würde auch erklären, weshalb im Waldboden, der doch beträchtliche Mengen organischer Stickstoffverbindungen enthält, eine Nitratbildung nur in beschränktem Maße vorkommt, und ein Nachweis von Salpetersäure in den Waldbäumen meist nicht gelingt; die letzteren nehmen aber ihren Stickstoff zumeist nicht in Form von salpetersauren Salzen auf, sondern vielleicht in einer einfachen organisch gebundenen Form, wie ihn eben die Mykorrhizapilze ihnen zur Verfügung stellen. Die chlorophyllfreien Humusbewohner stellen aber jedenfalls wieder ganz andere Anforderungen an ihre Mykorrhizapilze; ihnen müssen offenbar auch Kohlehydrate oder doch Verbindungen organischer Form zugeführt werden, wie sie die grünen Waldbäume nicht brauchen. Die Art und Weise der Ernährung durch Mykorrhizen ist zur Zeit noch sehr unklar und experimentell noch wenig geklärt.

Der Fichtenspargel, *Monotropa Hypopitys*, besitzt beispielsweise stets eine sehr ausgebildete ectotrophe Mykorrhiza und ist wahrscheinlich ohne dieselbe überhaupt nicht mehr imstande, sich zu ernähren; aber trotz sehr umfangreicher Arbeiten ist man der Frage noch nicht näher gekommen, welche Verbindungen der Pilz liefert und welche er von dem Fichtenspargel bezieht. Überhaupt ist die Art und Weise der Ernährung durch Mykorrhizen, sowie das gegenseitige Verhältnis zwischen Pilz und Wurzel zur Zeit noch sehr unklar, so groß die Literatur über dieses Gebiet auch ist; die Frage ist eben dem Experiment wenig zugänglich, da die Mykorrhizenpilze schwer oder teilweise überhaupt nicht auf künstlichen Nährböden zu kultivieren und rein zu züchten sind. Außerdem sind uns die überaus verwickelten und komplizierten chemischen Umsetzungen speziell bei der Ernährung der Humusbewohner noch so gut wie unbekannt.

Die endotrophe Mykorrhiza ist fast noch häufiger als die ectotrophe; am verbreitetsten ist sie bei Orchideen und Erikazeen, kommt aber auch sonst nicht selten, besonders bei Humusbewohnern vor. Die chlorophyllfreien Orchideen wie *Neottia Nidus avis*, *Coralliorhiza innata* usw. zeigen sie ausnahmslos und sind wohl ohne dieselbe auch nicht imstande, sich zu ernähren. Im einzelnen sind jedenfalls auch hier die Beziehungen zwischen den beiden Komponenten sehr verschieden; bei manchen Arten erinnert das Verhältnis an das zwischen den Legu-

minoson und den Knöllchenbakterien: Der eingedrungene und reichlich entwickelte Pilz wird zum Teil von der Pflanzenzelle verdaut.

Das ist z. B. bei *Neottia nidus avis* der Fall; hier entwickelt sich der Pilz in einigen Zellschichten zuerst sehr üppig teils in dicken, teils in dünnen Hyphen. In bestimmten Schichten sinken die dickeren Hyphen zu formlosen Massen zusammen und werden von der Pflanzenzelle verdaut, in andern bleiben sie erhalten und entwickeln sich weiter. In andern Fällen von endotropher Mykorrhiza ist eine solche teilweise Verdauung des Pilzes nicht beobachtet worden, und es besteht kein Zweifel, daß das Verhältnis zwischen den beiden Komponenten hier auch ein anderes ist. Ja, in vielen Fällen ist der eingedrungene Pilz vielleicht wirklich nur als, wenn auch oft ziemlich harmloser, Parasit anzusehen. Überhaupt ist ebenso wie bei der Flechtensymbiose das Verhältnis zwischen dem Pilz und der Wurzel in den einzelnen Fällen ganz verschieden und wird bald mehr zum Nutzen des einen, bald mehr zu dem des andern Teils sein, übrigens auch nach den Lebens- und Ernährungsbedingungen große, uns zumeist noch unbekannte Verschiedenheiten besitzen.

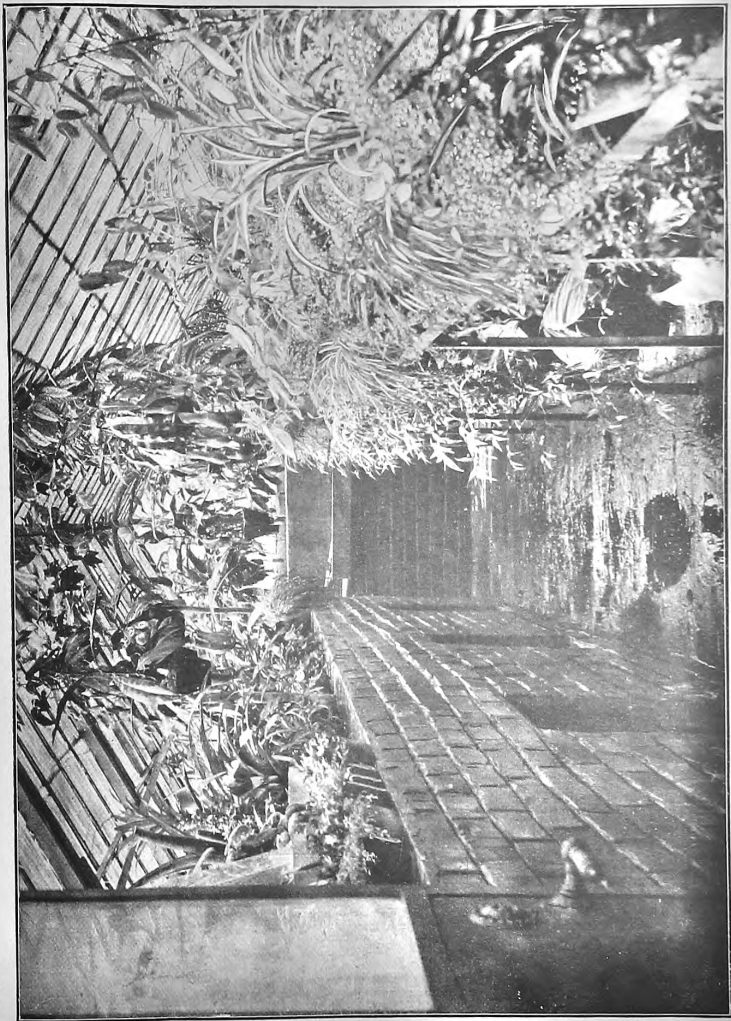
Die Mykorrhizabildung ist sehr verbreitet; nach Stahl gibt es mehr Pflanzenarten mit als ohne Mykorrhiza, nur die Wasserpflanzen sind stets frei von ihr, ebenso mit wenigen Ausnahmen die Cruciferen, Crassulaceen, Polypodiaceen, Cyperaceen.

V. KAPITEL

Insektenfangende Pflanzen

Eine der merkwürdigsten Formen pflanzlicher Ernährung ist unbestritten die der fleisch- oder insektenfressenden Pflanzen, die lange und von vielen Seiten bezweifelt wurde. Die überaus eigenartigen Einrichtungen erstrecken sich auf Anlockung, Fang und Verdauung kleinerer Tiere, vorzugsweise Insekten, sie sind aber bei den einzelnen Gattungen und Arten recht verschieden. Die Zahl der insektenfangenden Pflanzen wird verschieden hoch angegeben, sie mag 300 überschreiten, doch sind nur wenig Familien und Gattungen daran beteiligt; für manche ist es noch ungewiß, ob sie die gefangenen Insekten auch wirklich verwerten, so bei *Bartschia*, bei *Lathraea*.

Unsere einheimische Flora besitzt in dem Sonnentau (*Drosera rotundifolia*, seltener *longifolia*, *intermedia*) eine ganz ausgebildete insektenfangende und fressende Pflanze, an der die Verhältnisse auch leicht beobachtet werden können. Er ist sehr verbreitet auf Hochmooren und wächst hauptsächlich auf Torfmoospolstern in Form kleiner zierlicher Rosetten, von welchen aus zur Blütezeit ein fingerlanger dünner Stengel mit kleinen weißen Blüten sich erhebt. Die runden Blätter sind lang gestielt und wie die ganze Pflanze rötlich überlaufen; von ihnen gehen zahlreiche köpfchentragende Haargebilde aus, die in der Mitte niedrig, am Rande ziemlich lang sind. An den Köpfchen dieser Drüsenhaare hängt an frischen Blättern ein im Sonnenschein lebhaft glitzerndes kleines Tröpfchen, welches offen-



Kannengewächse im Warmhause des botanischen Gartens zu Karlsruhe

bar zur Anlockung der Insekten dient. Berührt man ein solches Blatt mit dem Finger und hebt ihn langsam ab, so zieht sich von jedem Köpfchen ein langer Schleimfaden aus, die glitzernde Flüssigkeit ist also gleichzeitig ein sehr klebriger

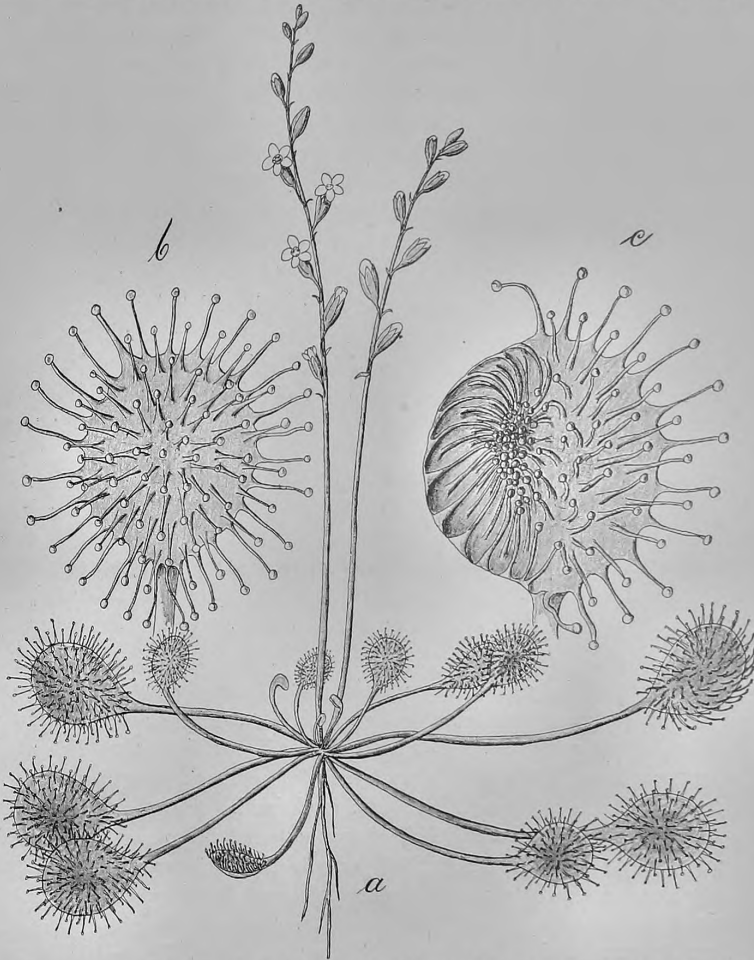


Fig. 153. Sonnentau (*Drosera rotundifolia*), *a* ganze Pflanze, *b* einzelnes geöffnetes Blatt (vergrößert), *c* vergrößertes Blatt, dessen Drüsenköpfchen sich zum Teil über einem kleinen Insekt geschlossen haben

Körper und dient zum Festhalten der angeflogenen kleinen Insekten. Das tut auch die Flüssigkeit, die kleinen Tiere können sich von der klebrigen Oberfläche nicht befreien, sie suchen mit Beinen und Flügeln nach Stützen, um sich abzuheben und treffen doch immer nur wieder klebrige Köpfchen. So besudeln sie ihren ganzen Körper mit dem zähen Schleim, die Beine kleben an den Körper oder unter

sich zusammen, und auch die Flügel werden unbrauchbar. Aber stärkere Insekten werden durch diesen Klebstoff nicht gehalten, sie fliegen im Gegenteil, sobald sie die unangenehme Beschaffenheit der Drüsenhaare bemerkt haben, sofort wieder ab, ohne sich den später vor sich gehenden Bewegungsvorgängen an den Blättern erst auszusetzen. Wenn daher auf dem Titelblatt eines populären Werkchens über das Sinnesleben der Pflanzen eine große Libelle von dem zarten Sonnentau gefangen wird, so hat der Zeichner die Kräfte der Pflanze erheblich überschätzt, oder die Libelle, die auch sonst nichts für sie Interessantes am Sonnentau zu suchen hat, war ohnehin dem Tode nahe, als sie sich auf der tückischen Pflanze niederließ.

Doch nicht bloß der klebrige Saft von den Drüsen, die das anfliegende Insekt berührte, halten dieses fest, es gehen auch noch eigenartige Veränderungen mit den Drüsenhaaren und der Blattfläche vor sich, die eine Sicherung des gefangenen Opfers gegen Fluchtversuche bezwecken. Sehr bald erfolgt eine deutliche Krümmung aller Stiele der Drüsenköpfchen nach dem Insekt hin, selbst die langen Drüsenhaare des Blattrandes krümmen sich so stark einwärts, daß sie mit ihren Köpfchen das Insekt zudecken helfen, so daß dieses bald ganz von den Drüsenköpfchen eingehüllt ist. Fast stets findet auch noch eine mehr oder weniger starke Krümmung der Blattfläche statt, um so stärker, je größer das Insekt ist und um so stärker der Reiz, der durch dasselbe auf die Blattfläche ausgeübt wird.

Denn ein Reiz ganz bestimmter Art ruft diese Bewegungserscheinung an den Blättern hervor, und zwar ist es nicht die Bewegung des krabbelnden Insektes, sondern offenbar eine chemische Wirkung, die von diesem ausgeht. Man kann nämlich denselben Vorgang auch auslösen, wenn man ein Stückchen Eiweiß oder Fleisch von der Größe eines Stecknadelkopfes auf das Blatt bringt, wo nach dem Aufbringen ja zappelnde Bewegungen wegfallen. Die Bewegungen der Drüsenhaare finden hier in ganz analoger Weise statt, die Köpfchen neigen sich nach dem Eiweißstückchen zusammen, und auch die Blattfläche wölbt sich, wenn das Stückchen etwas größer ist. Daß auch nicht der Druck die Ursache dieser Reizwirkung sein kann, läßt sich leicht nachweisen, wenn man ein Stückchen Erde oder Semmel auf das Blatt bringt; dann erfolgen keinerlei Bewegungen der Drüsenhaare oder der Blattfläche. Die Reizbewegungen werden also nur durch die Einwirkung bestimmter chemischer Stoffe, durch Eiweißkörper ausgelöst.

Das gefangene Insekt stirbt gewöhnlich bald durch Erstickung, denn der zähe, klebrige Schleim verstopft die Tracheen und hindert so die Sauerstoffaufnahme; größere Insekten bleiben entsprechend länger am Leben. Gleichzeitig mit dem Beginn der Krümmungen treten aber auch noch andere Veränderungen an den Drüsenhaaren auf; die Köpfchen werden merklich dunkler und nehmen einen trüb-purpurnen Farbenton an. Die Ausscheidung der stark klebrigen Flüssigkeit hört auf, und an ihre Stelle tritt eine andere, saure, die stark eiweißlösende (peptonisierende) Enzyme enthält. Diese dringen durch den Chyтинpanzer der Insekten zu dem eiweißreichen Inhalt und verwandeln diesen nach und nach in eine lösliche Masse, die später von den Drüsen selbst wieder aufgesogen und so der Pflanze zugeführt wird. Sobald das geschehen ist, rollt sich das Blatt wieder auf, die Drü-

senhaare strecken sich gerade, und von dem Insekt bemerkt man nur noch die leere Chytinhülle, die nicht mit verdaut wird.

Die Dauer dieser verschiedenen Prozesse ist von sehr verschiedenen Umständen abhängig. Kräftige Pflanzen und junge, aber ausgewachsene Blätter arbeiten am raschesten, ebenso gehen alle Prozesse bei schwülem Wetter rascher vor sich, als bei kaltem. Aber auch größere Insekten sind nach wenig Tagen vollständig verdaut, kleine schon nach 24 Stunden. Die Bewegungen der Haare bemerkt man bei feuchtheiße Luft schon innerhalb der ersten Minuten ganz deutlich, bei kalter Luft sind sie sehr langsam oder treten selbst gar nicht ein. Ja es scheint fast, als ob Insekten, die an kalten Tagen auffliegen und sich fangen, ungünstig auf die Blätter wirken, weil diese ihrer Aufgabe nur bei höherer Temperatur gewachsen sind.

Die Bedeutung des Insektenfanges liegt für die Pflanzen zweifellos in der Ernährung mit fertig gebildeten Eiweißkörpern, und gerade *Drosera* ist eine Pflanze, die deutlich erkennen läßt, wie gut ihr eine solche Fleischnahrung bekommt. Fütterungsversuche in der Kultur lassen darüber keinen Zweifel. Der Sonnentau läßt sich allerdings nicht ganz leicht längere Zeit am Leben erhalten, weil er als spezifische Hochmoorpflanze wesentlich andere Lebensbedingungen verlangt als unsere gewöhnlichen Zimmer- oder Gartenpflanzen. Gewöhnlich ist ihm das Wasser zu kalkhaltig, und er stirbt ebenso wie die Torfmoose in den meisten Fällen ab, weil die Konzentration der Nährstoffe in dem Substrat für ihn zu groß ist. Wenn man aber einige einfache Regeln beachtet, so kann man ihn doch so lange in Kultur erhalten, daß man die interessanten biologischen Versuche mit ihm anstellen kann. Hat er erst einmal einige neue Blätter entwickelt, so hält er sich oft überraschend lange. Vor allen Dingen achte man darauf, daß man ihn möglichst mit einem großen Torfmoospolster, in dem er wurzelt, heraushebt, sorgfältig in Pergamentpapier einschlägt und vom Hochmoor nach Hause transportiert; es schadet ihm gewöhnlich nichts, wenn er auch einige Tage so im Rucksack zubringen muß, falls er dabei nicht zu sehr gedrückt wird. Kann man ihn in einer großen Blechbüchse oder Botanisiertrommel unterbringen, um so besser! Kleine, herausgezupfte Proben mit einigen kümmerlichen Moospflänzchen halten sich niemals, je größer die Moospolster sind, desto wahrscheinlicher ist das Gelingen der Kultur. Zu Hause bringe man eine Torfmasse auf den Grund einer irdenen Schüssel oder Topfes (kein Blumentopf!), und zwar so hoch, daß das nicht locker, sondern in der ursprünglichen Dichtigkeit geordnete Torfmoos, welches über die Torfschicht kommt, den Rand des Topfes noch nicht ganz erreicht, dann gießt man mit möglichst kalkfreiem Wasser so lange, bis das ganze etwa wie ein ziemlich vollgesogener Schwamm beschaffen ist, aber nirgends Wasser übersteht. Moos und Sonnentau verlangen direktes Sonnenlicht, müssen aber ziemlich gleichmäßig feucht gehalten werden. Ist das Wasser sehr kalkreich, so nehme man auf 1 Teil Wasser noch 5—10 Teile destilliertes Wasser hinzu; jede Düngung oder etwa Gartenerde als Untergrund ist direkt schädlich. So habe ich Kulturen von *Drosera* oft mehrere Monate am Leben und in kräftiger Vegetation erhalten.

Sperrt man einzelne Pflanzen durch Gaze und Glas so ab, daß kleine Insekten nicht zu den Blättern gelangen können, so zeigt sich bald, daß sich die *Drosera*-

pflanzen viel weniger gut entwickeln und namentlich im Wachstum und in der Zahl der Blätter hinter den Individuen erheblich zurückbleiben, die Gelegenheit haben, Insekten zu verzehren; auch kommen sie oft gar nicht zur Blüte. Eine künstliche Fütterung mit kleinen Insekten oder Stückchen von hartgekochtem Eiweiß wirkt vorzüglich fördernd, allerdings kann auch ein Übermaß schädlich wirken. Wenn Pflanzen zu reichlich mit Insekten versorgt werden, so kränkeln sie ebenfalls, namentlich sterben diejenigen Blätter rasch ab, die oft hintereinander Insekten gefangen haben.

Zu den Droseraceen gehört auch noch eine andere, aber bei uns sehr seltene und nur ganz zerstreut vorkommende, aber nicht minder interessante Pflanze, *Aldrovandia vesiculosa*. Sie lebt in stehenden Gewässern, besonders in flachem, warmem Wasser der Teichränder, überwintert in Form kleiner, im Herbst



Fig. 154. Blatt von *Aldrovandia vesiculosa*, geöffnet, vergr.

zu Boden sinkender Knospen, aus denen im Frühjahr die kleine, etwa halbfingerlange, schwimmende Pflanze hervorgeht, deren fadenförmiger Stengel dicht aufeinander folgende Quirle eigentümlich gestalteter Blättchen trägt. Die eigentliche Blattspreite ist etwas bauchig gewölbt, und gewöhnlich liegen die Ränder so aneinander, daß sie eine allseitig geschlossene Blase bildet, die von einigen langen Borsten überragt wird. An warmen Tagen öffnet sich aber die Spreite in der Mittagszeit, die Blattränder weichen auseinander, schließen sich aber sofort wieder, wenn ein kleines Wasserinsekt, ein Wasserkrebschen oder ähnliches dazwischen gerät und irgendwo an die sehr reizbaren Blätter anstößt. Die beiden Blatthälften können sich um die Mittelrippe bewegen und schließen sich wie die Schalen einer Muschel, wenn die Blattränder oder die auf der Blattoberfläche stehenden Borsten berührt werden. Hier wird aber das Schließen durch Berührung herbeigeführt, nicht durch einen chemischen Reiz, denn auch die mit einer Nadel berührten Blätter schließen sich, sobald Borsten der Innenfläche dabei gereizt wurden.

Die seltene Pflanze bietet noch mancherlei Interessantes, das der Lösung harret. Bei der außerordentlich großen Sensibilität der Blätter könnte man erwarten, daß auch die andern für den Fang und die Verdauung der Insekten nötigen Eigenschaften in gleich hoher Entwicklung vorhanden wären, das ist aber durchaus nicht der Fall. Schon daß sich die Blätter überhaupt nur bei sehr hoher Wassertemperatur öffnen, bedingt, daß wenigstens in unserm Klima der Insektenfang bei ihr kein sehr ergiebiger sein kann, da auch im Sommer oft Wochen vergehen können, ehe einmal die hierzu günstige Temperatur vorhanden ist. Manche Pflanzen, die in kälterem Wasser leben, kommen in kälteren Sommern vielleicht überhaupt nicht dazu. Ich untersuchte einst über zwanzig Pflanzen aus einem Teich in der Nähe von Czernitz in Oberschlesien und fand in keinem einzigen der zahlreichen Blätter gefangene Wassertierchen oder Reste von solchen, dagegen waren die in einem flachen Schilfbruch in der Nähe davon gesammelten Pflanzen, die

aus viel wärmerem Wasser stammten, sämtlich reich mit kleinen Daphniden versehen. Ebenso dauert auch die Abtötung der gefangenen Tiere sehr lange, sie können unter Umständen bis sechs Tage im Innern der Blase umherschweben, so daß die Vermutung nahe liegt, daß die *Aldrovanda* überhaupt nicht direkt den Tod derselben herbeiführt, sondern Hunger oder Mangel an Sauerstoff denselben veranlaßt. Da die Pflanze aber auf der Innenfläche Drüsen besitzt, die durch einen verdünnten Aufguß von rohem Fleisch gereizt werden und in den Zellen ähnliche Plasmaballungen zeigt, wie sie in den Köpfchenzellen der gereizten Droserradriisen vorkommen, so ist anzunehmen, daß sie doch an der Zersetzung der toten Insekten oder wenigstens am Verbrauch der stickstoffhaltigen, organischen Stoffe teilnimmt. Denn es ist nicht unmöglich, daß die eigentliche Zersetzung der gefangenen Insekten durch Bakterien veranlaßt wird; bei der Spaltung der Eiweißkörper durch diese entstehen dann lösliche stickstoffhaltige Verbindungen, die der Pflanze vielleicht zugute kommen.

Eine andere, weit verbreitete insektenfangende Pflanze ist der Wasserschlauch (*Utricularia*), der bei uns in mehreren, wasserbewohnenden Arten vorkommt, überhaupt aber gegen 200 Arten umfaßt. Es sind untergetaucht schwimmende wurzellose

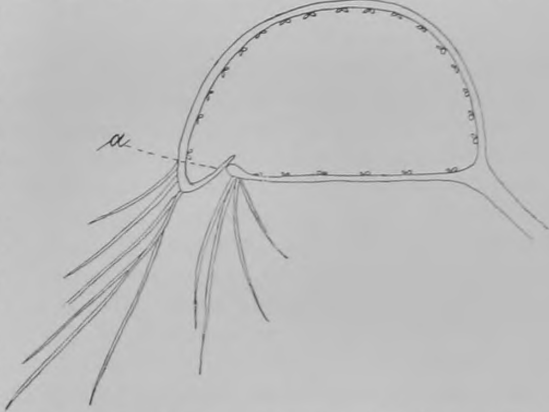


Fig. 155. Durchschnittenne Blase einer *Utricularia*, a die nach innen sich öffnende Klappe

Wasserpflanzen mit haarfein vielzipfelig gespaltenen Wasserblättern und ziemlich langem, über das Wasser emporragendem Blütschaft, an welchem die bei uns stets gelben, gespornten, den Rachenblüten ähnlichen Blüten stehen. An den Blättern sind einzelne Abschnitte zu flachen, ungefähr linsenförmigen, aber kleineren Blasen umgewandelt, die einen eigentümlichen Bau besitzen. An dem Vorderende befindet sich nämlich eine Öffnung, die durch eine bewegliche Platte verschlossen ist. Diese liegt ringsum auf dem Rande der Öffnung auf und läßt sich wie eine Falltür nur nach innen öffnen, etwa durch einen leichten von außen wirkenden Stoß, fällt aber sofort von selbst wieder zu, sobald der Druck nachläßt. Dieser „Mund“ der Blase ist von einer Anzahl Borsten umgeben; welche den Weg zum Eingang freilassen, aber ein seitliches Ausweichen kleiner, dazwischen geratener Tierchen hindern. Kleine Daphniden und andere kleine Crustaceen (*Cyclops* besonders), die zwischen die Borsten geraten, werden durch die überall sich entgegenstellenden Hindernisse sehr beunruhigt, machen lebhaft Bewegungen und gelangen dabei immer mehr nach der Eingangstür, bis sie diese schließlich aufstoßen und in die Blase hineingeraten, in der sie durch

das sofortige Zufallen der Tür gefangen sind. Noch so heftiges Stoßen gegen die Tür von innen nützt nichts, nach außen öffnet sie sich nicht.

Aber zuerst sind die gefangenen Tiere in den Blasen ebensowenig gefährdet, wie in den Blättern der *Aldrovanda*; sie sind hier sogar noch besser daran, denn während der Vegetationszeit enthalten die Utriculariablasen neben Wasser auch stets noch mehr oder weniger reichlich Luft; es ist nämlich eine weitere Aufgabe der Blasen, als Schwimmorgane zu dienen und die Pflanze nicht auf den Grund sinken zu lassen. Auch hier werden deshalb, da die Utricularien keine tötende Wirkung auf die gefangenen Tiere ausüben, diese mehrere Tage am Leben bleiben, bis Hunger oder Sauerstoffmangel ihr Ende herbeiführt. Drüsenzellen sind zwar bei den Utricularien ebenfalls auf der Innenseite der Blasen vorhanden, aber es ist bei ihnen, wie bei *Aldrovanda* wahrscheinlich, daß sie keine eigentlichen Verdauungsdrüsen sind, keine peptonisierenden Enzyme ausscheiden, sondern höchstens instände sind, die Abbauprodukte der Eiweißkörper, wie sie bei der durch Bakterien herbeigeführten Fäulnis entstehen, aufzunehmen.

Man kann sich von der Wirkung dieser einfachen und doch so praktischen Tierfallen sehr leicht überzeugen, wenn man Utricularien, die sich sehr leicht in Wassergefäßen halten lassen, etwa 14 Tage in wiederholt gewechseltem filtriertem Grabenwasser kultiviert. Dann sind die Blasen gewöhnlich frei von etwa gefangenen und zersetzten Tieren geworden. Bringt man dann eine Pflanze in eine flache, etwa 3 cm hoch mit Wasser gefüllte Porzellanschüssel und setzt eine größere Anzahl kleiner Crustaceen hinzu, so kann man, am besten mit einer Lupe von großem Gesichtsfeld das Einfangen der Krebschen direkt beobachten. Oft vergeht kaum eine halbe Stunde bis die große Mehrzahl der Tierchen aus dem freien Wasser verschwunden ist.

Die drei besprochenen Pflanzen stellen überhaupt die drei Typen dar, in denen der Insektenfang vor sich geht; bei *Drosera* sind es gestielte Drüsen, die mit einer klebrigen, die Insekten festhaltenden Masse überzogen sind und Reizbewegungen ausführen, bei *Aldrovanda* sind es reizbare bewegliche Blätter, die zusammenklappen und dadurch ihre Opfer festhalten, bei *Utricularia* endlich sind es unbewegliche, nicht reizbare hohle Blattbildungen, die vermöge ihrer eigenartigen Konstruktion die einmal hineingelangten Tiere nicht mehr entkommen lassen. An alle drei Typen schließen sich nun eine Anzahl von andern Insektivoren an, an *Drosera* z. B. *Drosophyllum*, wenn auch dessen gestielte Drüsen unbeweglich sind, ferner *Roridula* und *Byblis*; an *Aldrovanda* die bekannte Venusfliegenfalle, *Dionaea muscipula*, an *Utricularia* die interessanten Kannengewächse (*Nepenthes*), die *Sarraceniaceen* und einige andere.

Etwas abweichend verhält sich dagegen die auch bei uns in Gebirgsgegenden in zwei Arten vertretene Gattung Fettkraut, *Pinguicula*, die mit der Gattung *Utricularia* verwandt, aber in ihrem Aussehen sehr von ihr verschieden ist. Die breitlanzettlichen, eine grundständige Rosette bildenden Blätter enthalten auf der Oberseite zahlreiche kurzgestielte Drüsen, die wie beim Sonnentau durch organische, stickstoffhaltige Stoffe reizbar sind und zwar keine auffälligen Bewegungen ausführen, aber reichliche Mengen eines klebrigen Schleimes und einer

sauren, peptonisierendes Enzym enthaltenden Flüssigkeit ausscheiden. Die kleinen Tiere, die den Reiz erzeugt haben und nicht sofort wieder entfliehen, werden dadurch festgehalten; auch rollt sich der Blätterrand etwas ein und umhüllt die Opfer, die nach 1–3 Tagen verdaut sind.

Von den ausländischen Insektivoren ist besonders die überaus zierliche *Dionaea muscipula*, Venusfliegenfalle bekannt, deren Blätter wohl die größte Reizempfindlichkeit von allen hierher gehörigen Pflanzen zeigen. Auch hier bilden die Blätter eine grundständige Rosette; der Stiel ist nach oben zu breit geflügelt, vor der eigentlichen Blattspreite stielrundlich. Die Blattspreite selbst läuft rings



Fig. 156. *Pinguicula vulgaris*

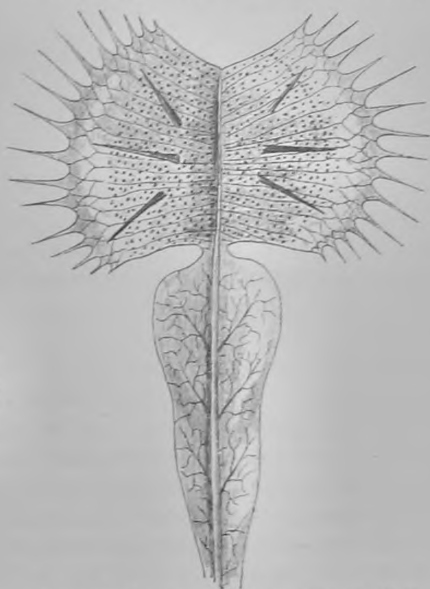


Fig. 157. *Dionaea muscipula*, geöffnetes Blatt

in lange spitze, dolchartige Zähne aus und besitzt innen auf jeder Seite der Mittelrippe drei ziemlich lange spitze Borsten. Die letzteren sind die Reizorgane des Blattes, das sonst ganz reizunempfindlich ist; berührt man aber eine dieser Borsten, so klappt das Blatt augenblicklich zusammen und die Zähne des Randes falten sich ineinander. Die Mittelrippe wirkt dabei wie ein Scharnier, um welches sich die beiden Blatthälften drehen. Insekten müssen schon sehr schnell sein, um der Gefangennahme durch das Zusammenklappen des Blattes nach der Berührung der Borsten zu entgehen.

Berührt man eine der Borsten mit einer Nadel, so erfolgt zwar auch ein augenblickliches Schließen, aber das Blatt öffnet sich nach einiger Zeit wieder; gelangt aber ein Insekt zwischen die Klappen, so bleiben diese geschlossen, bis die Verdauung desselben erfolgt ist. Dieser Prozeß geht in ähnlicher Weise, wie bei *Drosera* vor sich; zahlreiche sitzende, purpurrote Drüsen scheiden saure peptonisie-

rende Flüssigkeit aus und saugen, nachdem die Lösung des Eiweißes beendet ist, den stickstoffreichen Saft wieder auf. Auch diese Pflanze gehört zu den Droseraceen und stellt wohl den höchstentwickelten Typus einer insektenfangenden Pflanze dar.

Auffallende Pflanzenformen sind die Kannengewächse aus der Gattung *Nepenthes*, ungefähr 40 in den Tropen lebende, epiphytische Arten, deren langgestielte, bandförmige Blätter eine austretende Mittelrippe besitzen, die am Ende in eine ziemlich große, mit einem Deckel versehene Kanne ausläuft. Der Deckel ist nur in der Jugend geschlossen, später richtet er sich auf und dient durchaus nicht mehr als Verschuß der Kanne, auch nicht, wenn Insekten hineingelangt sind. Die hohle Kanne ist am Grunde mit einer Flüssigkeit — Wasser — gefüllt, scheidet am oberen Rande meist eine Insekten anlockende Flüssigkeit aus, ist aber dicht unterhalb durch einen Wachsüberzug sehr glatt, so daß darüber hinlaufende Insekten herabstürzen und in die Flüssigkeit fallen, aus der sie an den glatten Wänden nicht mehr in die Höhe kommen. Am Grunde der Kannen sind zahlreiche Drüsen entwickelt, deren Wirkung jedoch je nach der Entwicklung der Pflanze sehr verschieden ist. Bei kräftig entwickelten Kannengewächsen scheiden die Drüsen einen Eiweiß verdauenden Stoff ab, die Flüssigkeit in den Kannen reagiert stark sauer, so daß eiweißzersetzende Bakterien, die saure Reaktion nicht vertragen, sich nicht entwickeln können. Der ganze Verdauungsprozeß wird also von der Pflanze selbst bewirkt. Nur bei sehr schwächlichen *Nepenthes*-pflanzen unterbleibt diese Ausscheidung eiweißverdauender Stoffe entweder ganz oder findet doch nur in geringem Grade statt, es können sich wegen der fehlenden sauren Reaktion Fäulnisbakterien entwickeln und die Zersetzung der ertrunkenen Insekten übernehmen. Die Pflanze nimmt dann mit ihren Drüsen offenbar nur die durch die Fäulnis entstandenen Zersetzungsprodukte auf.

Kannenartige Fangorgane haben auch noch die *Saraceniaceen*, nur sind hier die Blätter selbst in schlauch- oder kannenförmige Organe umgewandelt, im übrigen scheinen sie sich hinsichtlich der Ernährung an *Nepenthes* anzuschließen, scheiden aber selbst keine Verdauungssäfte aus.

S I E B E N T E R A B S C H N I T T

Symbiose und Genossenschaftsleben

I. KAPITEL

Die Flechten

VOR einigen Jahrzehnten sah man die Flechten noch als selbständige Organismen an, die etwa den Pilzen und Algen gleichwertig, mit diesen zusammen die Gruppe der Thallophyten bildeten. Die auffallende Verschiedenheit in den Elementen des Flechtenthallus war allerdings nie verborgen geblieben, aber der Gedanke, daß es sich um eine innige Lebensgemeinschaft zwischen Algen und Pilzen handele, um eine Symbiose zwischen zwei ganz verschiedenen Organismen, wie De Bary später ein solches Verhältnis nannte, wurde erst verhältnismäßig spät wach, und erst durch die grundlegenden Untersuchungen Schwendeners und Bornets wurde eine sichere Erkenntnis der Wechselbeziehungen im Flechtenthallus angebahnt. Die Flechtensystematiker freilich verhielten sich noch lange ablehnend gegen diese Schwendener-Bornetsche Theorie, aber heute zweifeln auch diese wohl nicht mehr daran, daß Flechten nichts anderes als Pilze sind, die in einer innigen Gemeinschaft mit Algen leben.

Wenn man die Flechten nach ihrem äußeren Bild auch als ganz eigenartige, weder mit den Pilzen noch den Algen irgendwie vergleichbare Pflanzengestalten anerkennt und sofort von beiden Klassen unterscheiden kann, so zeigt sich doch bei mikroskopischer Durchmusterung des Thallusbaues ein wesentlich anderes Bild. Man glaubt in dem Querschnitt durch einen Flechtenthallus zwei verschiedene Organismen vor sich zu haben. Ein Teil der Zellen ist farblos und gleicht vollkommen den Pilzhyphe, ein anderer ist grün oder blaugrün gefärbt und stimmt vollständig mit gewissen Algenarten überein. In der Tat sind diese Zellen, die man als Gonidien bezeichnet hat, auch Algen, die den Chlorophyceen und Cyanophyceen angehören; eine große Anzahl von verschiedenen Arten, die auch außerhalb des Flechtenthallus freilebend vorkommen, sind in den Flechten wieder gefunden worden. Unter den Chlorophyceen ist es hauptsächlich *Pleurococcus vulgaris* Menegh., der eine außerordentlich große Verbreitung in den Flechten hat. Die bekannten Strauchflechten (*Usnea*, *Bryopogon*), ferner sehr zahlreiche andere Gattungen (*Cladonia*, *Physcia*, *Xanthoria*, *Parmelia*, *Evernia* und viele andere)

enthalten als Alge nur *Pleurococcus vulgaris*. Auch einige andere einzellige Grünalgen sind im Thallus verschiedener Flechten nachgewiesen, sogar einige hochentwickelte Fadenalgen aus der Gattung *Trentepohlia*; *Trentepohlia umbrina* kommt in verschiedenen Krustenflechten (*Verrucarien*, *Lecideen*, *Graphideen*) vor.

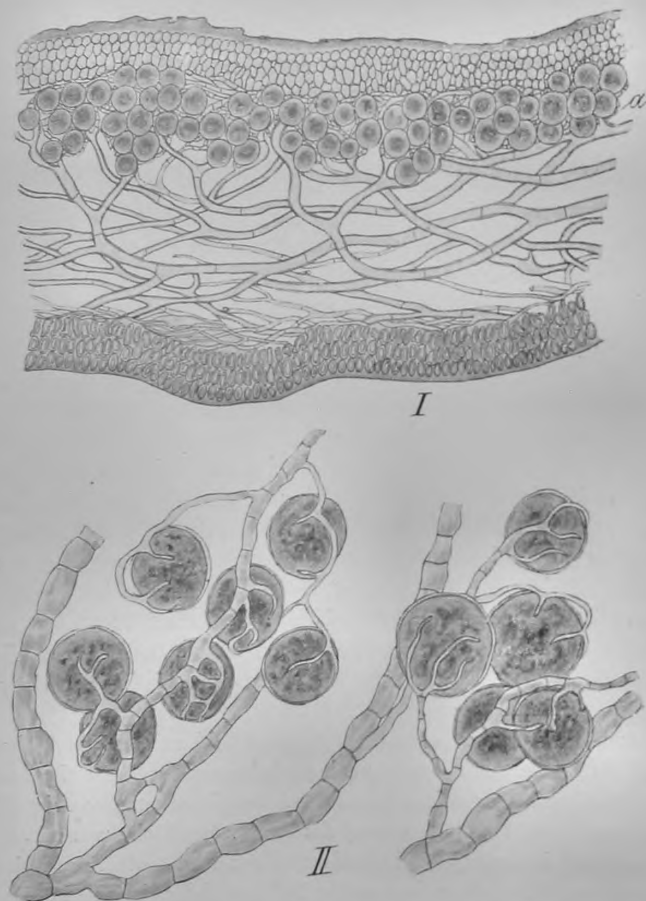


Fig. 158. *Xanthoria parietina*. I dünner Querschnitt durch den Flechtenthallus, stark vergrößert. II Teil der Gonidienschicht mit den sich anlegenden Pilzhyphe, sehr stark vergrößert

Von blaugrünen Algen kommen *Nostoc lichenoides* in den meisten *Collema*en, *Rivularia nitida* in *Lichina* u. a., *Gloeocapsa polyderrmatica* in *Baeomyces roseus*, *Stigonema panniforme* in *Ephebe pubescens* vor. Jeder Pilz kann sich im allgemeinen nur mit einer bestimmten Algenart zur Flechte vereinigen, doch kommen einzelne auffallende Ausnahmen vor. *Solorinella crocea*, eine in den Alpen ver-

breitete Flechte besitzt bei uns *Palmellagonidien*, im Himalaja dagegen *Nostogonidien*.

Die Algen liegen zwischen den Pilzfäden eingebettet in einer durch Lufträume, Interzellularen, vielfach durchbrochenen Schicht; gewöhnlich unter dieser Schicht liegt ein sehr lockeres Geflecht von Pilzhyphen, das Markgewebe. Nach unten und oben ist der Flechtenthallus oft durch eine Rindenschicht begrenzt, die aus dickwandigen, kurzen, lückenlos aneinanderschließenden Zellen besteht und den Eindruck eines parenchymatischen Gewebes macht. Bei den als Strauch-, Laub und Krustenflechten unterschiedenen Formen sind allerdings gewisse Unterschiede im Aufbau des Thallus vorhanden, bei einigen Flechten kommt es überhaupt nicht zu einer Sonderung der Schichten, sondern Gonidien und Pilzhyphen sind annähernd gleichmäßig im Thallus verteilt (*homoeomere* Arten z. B. *Collema*). Die weitaus meisten zeigen aber diese Gliederung (*heteromere* Arten).

Die Pilze, die an der Bildung des Flechtenthallus beteiligt sind, gehören fast ausnahmslos den *Ascomyceten* an, während nur wenige und nur außereuropäische Arten zu der andern großen Pilzreihe, den *Basidiomyceten* zu stellen sind. Während aber von den Algen alle Arten auch außerhalb des Flechtenkörpers frei lebend bekannt sind, ist dies bei den Pilzen nicht der Fall, nur in einem Falle kennt man einen Flechtenpilz, der auch freilebend imstande ist, sich als *Saprophyt* zu entwickeln, ohne auf die Unterstützung der Algen angewiesen zu sein. Sie sind also bereits so vollständig in ihrer Lebensweise von den Algen abhängig, daß sie ohne diese nicht mehr existieren könnten.

Das Verhältnis zwischen Pilz und Alge ist nun aber ein solches, daß beide Teile von ihrer Vereinigung einen gewissen Vorteil haben, obwohl diese merkwürdige Form eines Doppelwesens entschieden aus einer ursprünglich parasitischen Lebensweise der Pilze hervorgegangen ist. Darauf deutet nicht nur die ganze Art und Weise, wie die Algenzellen von den Pilzhyphen umspinnen werden, sondern auch das tatsächliche Aussaugen der Gonidien, wie es noch bei einigen Gattungen, z. B. *Physma*, vorkommt. In diesem Falle werden die von den Haustorien ergriffenen Algenzellen, deren Membran durchbohrt wird, auch getötet, der Pilz lebt also als vollständiger Parasit auf den Algen, während allerdings vielfach die nicht-ergriffenen, dazwischenliegenden Algenzellen sich reichlich vermehren und weiterentwickeln. In einigen andern Fällen dringen zwar auch noch Hyphenäste durch die Membran in die Algenzellen ein, aber nicht mehr in das Plasma; sie wirken dann auch nicht in gleichem Maße schädlich auf die ergriffenen Zellen, so daß der Tod derselben nicht erfolgt, sie sich vielmehr noch weiter entwickeln und teilen.

In den meisten Fällen kommt es aber gar nicht zu einem Eindringen der Pilzhyphen in die Algenzellen; dieselben legen sich vielmehr nur in Form dünner Äste außen an die Gonidien an, und ihre Membran wächst anscheinend mit der der Algenzelle zusammen. Hierbei ist eine wesentliche Schädigung der Alge dann überhaupt nicht mehr zu erkennen, nur insofern läßt sich eine gewisse Beeinträchtigung in ihrer Entwicklung wahrnehmen, als Algen, die im Freileben Schwärmsporen bilden, dieses Vermögen im Flechtenthallus, offenbar unter der Einwirkung

des Pilzes verloren haben. Für den Pilz würde die Bildung von Schwärmern der Algenzellen natürlich kein Vorteil sein, es würden ihm dadurch mehr oder weniger zahlreiche zu seiner Ernährung beitragende Zellen verloren gehen, wenn sie aus dem Thallus in Form von Schwärmern entweichen würden. Andererseits wird aber auch für die Algen in den meisten Fällen eine solche Schwärmerbildung mindestens überflüssig, weil diese aus dem geschlossenen Flechtenthallus nicht heraus können und damit ihren Hauptzweck, die Vermehrung und Verbreitung der Art ohnehin nicht erreichen würden. Dagegen vermögen Algenzellen, die aus dem Flechtenthallus befreit sind, sehr rasch wieder zur Bildung von Schwärmern zurückzukehren, wie dies von Famintzin und Baranetzky nachgewiesen wurde.

In vielen andern Punkten bedeutet aber das Zusammenleben mit den Pilzen auch für die Algen einen Vorteil. Sie können sich vor allen Dingen an Stellen entwickeln, die ihnen sonst bei ihren Ansprüchen an Feuchtigkeit verschlossen blieben oder doch nur vorübergehend zugänglich wären. Allerdings ist dabei wieder in Betracht zu ziehen, daß die in den Flechten vorkommenden Algenarten ohnehin zum größeren Teil an der Luft und nicht im Wasser wachsende Formen sind, wie *Pleurococcus vulgaris*, der in der feuchteren Jahreszeit Baumstämme, Mauern, Felsen mit einem grünen Anfluge überzieht, oder *Trentepohlia umbrina*, die auf Eichenrinde wächst, *Nostocarten* auf feuchten Waldwegen usw. Aber in den meisten Fällen würde die Vegetation dieser Algen sich nur eben auf die feuchteren und kühleren Abschnitte des Jahres beschränken, im Sommer würde eine Unterbrechung der Vegetation eintreten, weil die zu ihrem Leben nötige Feuchtigkeit fehlt; die Zellen sterben entweder ab oder gehen in Dauerzustände über.

Im Flechtenthallus dagegen kommt es auch an den exponiertesten und trockensten Felsen zu keinem Absterben der Algenzellen oder zur Bildung von Dauerzuständen; wenn auch die Weiterentwicklung und das Wachstum zeitweise ruht, bleiben die Algenzellen doch fortdauernd in vegetativer Form und können jeden Augenblick ihre normale Weiterentwicklung wieder aufnehmen. Außerdem ist die vegetative Vermehrung der Zellen in sehr vielen Fällen eine lebhaftere, und die Zellen selbst werden größer und kräftiger als bei den freilebenden Individuen der gleichen Art. Sie nehmen sogar gewöhnlich eine etwas abweichende Gestalt an, und das ist die Ursache, daß es vielfach so schwer ist, die Flechtengonidien mit Sicherheit als eine bestimmte Algenart zu erkennen.

Der Flechtenpilz dagegen erfährt in seiner Entwicklungsweise keine Einbuße; er bildet verschiedenartige Fortpflanzungszellen, Conidien, besonders auch die in besonderen Fruchtkörpern, die mit denen der *Pyrenomyceten* und *Discomyceten* unter den *Ascomyceten* übereinstimmen und deshalb auch *Perithezien* und *Apothecien* genannt werden, sich entwickelnden *Ascosporen*. Es ist nun zwar möglich, diese Sporen auf geeigneten Nährsubstraten zur Keimung zu bringen, es entwickelt sich aber stets nur ein steriles und meist ziemlich unbedeutendes Pilzmycel, eine Flechte mit ihrem charakteristischen Aussehen kommt nur zustande, wenn die Pilzhypphen mit den ihnen zusagenden Algenzellen in Berührung kommen. In der freien Natur werden aber solche Nährsubstrate — abgesehen von den Algenzellen — den Flechtenpilzen entweder überhaupt nicht geboten, oder wo sie ein-

mal vorkommen, würden sich eine große Anzahl anderer Pilze und Bakterien einfinden, die durch ihre bessere Anpassung an solche Ernährung die etwa sich entwickelnden Flechtenpilze bald überwuchern und verdrängen würden. Deshalb kann es auch außer auf den entsprechenden Algenzellen kaum zu einer nennenswerten Entwicklung von Flechtenpilzen kommen, früher oder später gehen die gekeimten Sporen zugrunde.

Da nun die eigentlichen Fortpflanzungszellen des Flechtenpilzes, die Sporen auch nur dann zur Bildung eines neuen Flechtenlagers kommen können, wenn sie bei ihrer Keimung zufällig mit den entsprechenden Algen zusammentreffen, wird, besonders bei vielen felsbewohnenden Arten, diese Art der Vermehrung oft nur in sehr beschränktem Maße stattfinden können. Denn gerade an trockenen, der grellen Sonne ausgesetzten Felswänden, die oft sehr reichlich von Flechten bewohnt sind, werden die Sporen nur selten lebensfähige Algenzellen antreffen. Da kommen den Flechten nun zwei andere Formen der Vermehrung zustatten, die sie von dem notwendigen Antreffen der entsprechenden Algenart unabhängig machen.

Viele Flechten, insbesondere auch die felsbewohnenden Krustenflechten zeigen bei ihrer weiteren Entwicklung vom Zentrum ausgehend eine ausgesprochene Feldderung; das Lager wird durch nach allen Richtungen verlaufende Risse und Sprünge in eine große Anzahl kleiner Felderchen oder Körnchen zerlegt, die gelegentlich ausbröckeln und durch Wasser oder Wind fortgeführt werden. Diese Körnchen enthalten natürlich alle Elemente der Flechten, sowohl die Pilz- als auch die Algenzellen und können, wo sie in einem Spalt oder an einer rauhen Stelle der Felswand haften bleiben, sofort wieder zu einem neuen Flechtenlager auswachsen.

Noch deutlicher tritt diese Fähigkeit der Flechten zu ausgiebiger vegetativer Vermehrung bei der den meisten Arten zukommenden Soredienbildung hervor. Soredien sind fast staubförmig kleine, rundliche Flechtenteilchen, die meist in besonderen Lagern, den Soralen gebildet werden und aus einer oder mehreren Algenzellen, die von einem dicht geschlossenen Pilzgewebe umspinnen sind, bestehen. Diese Soredien entstehen oft in ungeheuren Massen im Flechtenlager, ja oft löst sich dieses letztere vollständig in eine solche staubförmige Soredienmasse auf, so daß die eigentliche Flechte gar nicht mehr als solche erkennbar ist. Sie sind in ihrer Bedeutung etwa den Brutkörperchen, wie sie bei manchen Moosen vorkommen (z. B. *Marchantia polymorpha*) vergleichbar und dienen der Flechtenvermehrung in sehr ausgiebiger Weise. Sie sind außerordentlich klein und leicht und können vom Winde auf die weitesten Entfernungen fortgetragen werden, wo sie auf passendem Substrat ohne Weiteres keimen und neue Lager bilden können. Denn der Flechtenpilz bringt sich seine Alge selbst mit, ist also unabhängig von dem Vorkommen oder Fehlen der Alge an dem neuen Siedelungsort. Auch diese Soredienbildung zeigt die weitgehende Anpassung wenigstens des Pilzes an das Zusammenleben mit der Alge.

Wie die Pilze im allgemeinen, so vermögen auch die Flechtenpilze nicht organische Stoffe aus anorganischen aufzubauen, und da Flechten sich oft an nackten Felswänden ansiedeln, wo ihnen keine Spur von organischen Stoffen zur Ver-

fügung steht, so liegt es auf der Hand, daß die im Thallus enthaltenen Algenzellen, die ja Chlorophyll enthalten, die Lieferanten dieser Stoffe sind. Die Beziehungen zwischen Pilz und Algen müssen aber wechselseitige sein, denn die letzteren sind ja durch die Pilzhypen allseitig von der Außenwelt abgeschlossen und können sich deshalb die anorganischen Baustoffe, Wasser und Salze, nicht selbst erwerben. Der Pilz muß ihnen diese also zuführen, während sie einen Teil der durch ihre Assimilationstätigkeit gebildeten organischen Stoffe an den Pilz abgeben. Die dem Pilz gewordene Aufgabe, für die Ernährung der Algen zu sorgen, hat in ihm Fähigkeiten geweckt, die sonst den Pilzen nicht zukommen. Er bildet verschiedene organische Säuren, Flechtensäuren, die auflösend auf Gesteine der verschiedensten Art wirken und so Salze zugänglich machen, die der Alge nicht erreichbar wären. Er sorgt aber auch für eine regelmäßige Zufuhr von Wasser, die der Alge sonst ebenfalls fehlen würde. Dazu ist nun auch der ganze Bau des Flechtenthallus hervorragend eingerichtet. Die Gonidien befinden sich in einer mehr oder weniger von Lufträumen durchsetzten Schicht, die unterhalb in dem Mark noch viel lockerer wird, nach außen aber bildet die lückenlose und dickwandige Rinde einen Abschluß, der wesentlich vor zu starker Wasserabgabe schützt. Die Luft im Innern des Thallus bleibt daher mit Feuchtigkeit noch lange gesättigt, auch wenn die Rindenzellen ziemlich trocken werden, und schließlich enthalten auch die in der Markschrift verlaufenden Fäden reichlich Wasser, welches im Notfall den grünen Zellen zur Verfügung steht. Dazu kommt die außergewöhnlich große Fähigkeit der Flechtenpilze, aus feuchter Luft Wasser aufzunehmen; wenn sie daher auch an heißen Tagen so ausgetrocknet sind, daß sie sich zu Pulver zerreiben lassen, so werden sie in der kühleren und relativ feuchteren Luft der Nacht wieder so viel Feuchtigkeit aufnehmen, daß sie wenigstens ein Absterben der Flechtengonidien verhindern.

Vielfach ist die Frage aufgeworfen worden, ob denn die Flechten, besonders Arten, die sich tief in Felsen eingefressen haben, hinreichend Luftzufuhr und namentlich auch Licht erhalten, um genügend assimilieren zu können. Nach den Untersuchungen einiger Forscher soll sogar die Kohlensäureabscheidung von Laub- und Strauchflechten im Licht die Kohlensäurezersetzung überwiegen. Das wäre aber nicht recht erklärlich, denn wenn eine dauernde Atmung von Pilz und Alge stattfinden soll, müssen auch dauernd Stoffe zum Veratmen vorhanden sein. Diese Stoffe sind aber doch offenbar kohlenstoffhaltige, organische Verbindungen, die erst durch den Assimilationsprozeß hergestellt werden, und dazu muß unbedingt Kohlensäure vorher zerlegt werden. Allerdings braucht diese Kohlensäure nicht immer als freies Gas aufgenommen zu werden, sie kann auch gelöst in dem zugeführten Wasser sein. Außer den organischen Körpern, die veratmet werden, müssen aber auch noch solche für das Wachstum und die Weiterentwicklung des Flechtenthallus gebildet werden, und da der Pilz dazu sicher nicht in der Lage ist, und an vielen Stellen, z. B. gerade an nackten Felswänden, auch keine aus dem Substrat aufnehmen kann, so muß die Alge dafür sorgen. Das kann aber nur auf dem Wege der Assimilation geschehen, und deshalb muß diese auf alle Fälle überwiegen. Daß dazu bei dem langsamen Wachstum und den bescheidenen An-

sprüchen der Flechten nicht unbedingt große Mengen Licht notwendig sind, ist von vornherein wahrscheinlich und wird noch leichter verständlich, wenn wir uns an die sehr geringen Mengen Licht erinnern, mit denen das Leuchtmoos (*Schistostega osmundacea*) oft im Hintergrunde von Höhlen auskommen muß. Es wäre ja sonst auch unbegreiflich, woher die zur Veratmung dienenden Stoffe kommen sollten, wenn man nicht eine unbekannte und bisher durch nichts gestützte Form des Stoffwechsels bei den Flechten annehmen wollte.

Der Begriff Symbiose wird auf eine ganze Anzahl von ähnlichen Beziehungen zwischen verschiedenen Organismen übertragen, wie sie zwischen Flechtenpilz und Flechtenalge bestehen; selten aber kommt ein so reines Gegenseitigkeitsverhältnis, bei dem beide Teile Vorteile ziehen, vor, als gerade bei den Flechten. Aber auch hier sehen wir bei einem Teil der Arten ein Hinneigen zum Parasitismus, aus dem vermutlich überhaupt die ganze Flechtenbildung hervorgegangen ist. Pilze mit nicht besonders starker parasitärer Angriffskraft überfielen Algenzellen, denen sie zwar einen Teil ihrer organischen Stoffe entziehen, sie aber nicht töten konnten; nur bei einem Teil der Arten war der Parasitismus so groß, daß die Pilzhypphen in das Plasma der Algenzellen eindringen und dieses selbst vernichten konnten. Es kommt aber auch gar nicht selten der Fall vor, daß eine Flechte auf der andern parasitiert; dabei können wieder verschiedene Fälle eintreten, entweder wird die befallene Flechte von der parasitischen vollständig vernichtet oder doch in ihrer Entwicklung wesentlich gehemmt, oder nur der Flechtenpilz wird durch den Parasiten getötet, und der letztere übernimmt einfach die Gonidien in seinen eigenen Thallus, oder endlich — ein Fall, der ziemlich häufig eintritt — der eingedrungene Parasit umspinnt, ohne den eigentlichen Flechtenpilz oder die Gonidien wesentlich zu schädigen, die letzteren ebenfalls, so daß diese gewissermaßen zwei Flechtenpilze zu ernähren haben.

Die Verhältnisse sind also, wie hier nur angedeutet werden konnte, sehr mannigfaltiger Natur, überall kommen aber parasitische Gelüste der Flechtenpilze gelegentlich zum Durchbruch, unter denen dann entweder andere Flechten oder die als Gonidien dienenden Algen zu leiden haben.

II. KAPITEL

Die Knöllchenbakterien der Leguminosen

Als einen Fall von Symbiose hat man auch das merkwürdige Verhältnis zwischen den Leguminosen und den Knöllchenbakterien (*Bacillus radicicola*) aufgefaßt, obwohl auch hier entschieden eine besondere Form des Parasitismus der Entstehung dieser Beziehungen zugrunde lag und in manchen Fällen noch erkennbar ist. Ja manche Forscher sehen die Knöllchenbakterien auch heute noch als ausgesprochene Parasiten an, deren zerstörende Wirkung nur an der Widerstandskraft der Leguminosen scheitert, während umgekehrt die ersten Forscher, die diese merkwürdigen Verhältnisse untersuchten, teilweise der Ansicht waren, daß

die Pflanze in raffinierter Weise auf den Bakterienfang ausgehe, um diese nachher zu verspeisen, wie der Sonnentau die gefangenen Fliegen.

Bei fast allen Leguminosen finden sich an den Wurzeln kleine rundliche Anschwellungen von Hirsekorn- bis Haselnußgröße, und diese „Knöllchen“ sind die Organe, in denen sich der *Bacillus radicola* entwickelt, deren Bildung er überhaupt durch seine Lebensprozesse veranlaßt. Über die Bedeutung der Knöll-

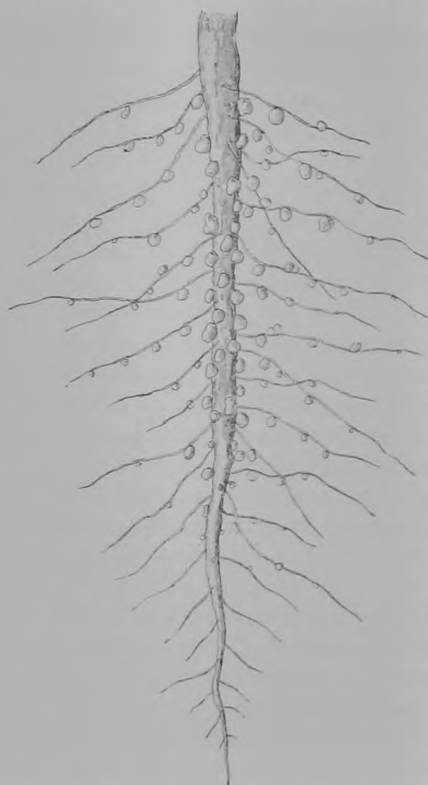


Fig. 159. Wurzel einer Leguminose mit Knöllchen

chen, deren Vorhandensein schon seit mehr als 300 Jahren bekannt ist, war man lange Zeit im Zweifel, erst Woronin fand im Plasma der Knöllchen eigentümlich geformte, stäbchenartige Gebilde, die er für Bakterien erklärte, was von anderer Seite, wegen der Unmöglichkeit, sie künstlich zu züchten, bestritten wurde. Die Kultur gelang aber Beyerinck auf einer mit Gelatine versetzten Abkochung derjenigen Leguminosen, von denen die Knöllchenbakterien gezüchtet werden sollten, und es gelang ihm, von künstlichen Kulturen aus wieder Leguminosen, die in keimfreiem Boden, also ohne Knöllchen gewachsen waren, zu infizieren und zur Knöllchenbildung zu veranlassen. Denn in keimfreiem Boden oder wenigstens in solchem, dem die Knöllchenbakterien fehlen, bleibt natürlich auch die Knöllchenbildung aus.

Kultiviert man eine Leguminose in sterilisiertem Boden, so bleiben die Knöllchen aus; ist der Boden reich an Salzen, besonders auch an Nitraten, so gedeiht die Pflanze gut, blüht und bildet normale, keimfähige Samen aus, ein Zeichen, daß sie ohne Knöllchenbakterien zu leben imstande ist. Bringt man aber die ihr eigenen Knöllchenbakterien in den Boden, etwa in dem zum Begießen verwendeten Wasser suspendiert, so gehen eigentümliche Veränderungen an den Wurzeln vor. Wahrscheinlich beginnt die Infektion von den Wurzelhaaren aus; liegt ein Knöllchenbakterium einem Wurzelhaar an, so scheidet es an der Berührungsstelle ein die Membran erweichendes Enzym aus und dringt in das Wurzelhaar unter gleichzeitiger Vermehrung durch Teilung ein. An dieser Eintrittsstelle bildet sich eine kleine schleimige Kolonie, welche durch das Wurzelhaar einen schlauchförmigen, dicht mit Bakterien erfüllten Schleimfaden nach der Wurzel zu entsendet, während

sich das Wurzelhaar an der Infektionsstelle in eigentümlicher Weise krümmt. Ist der als Infektionsfaden bezeichnete Bakterienstrang bis zur Epidermis der Wurzel vorgedrungen, so löst er sich zum Teil auf, einzelne Bakterien dringen unter Erweichung der Zellmembranen in die Zellen des Wurzelgewebes, vermehren sich fortgesetzt und üben auf die Pflanzenzellen einen starken Reiz aus,



Fig. 160. Knöllchenbakterien. *a* Infektion eines Wurzelhaares mit nach der Wurzel zu wachsendem Bakterienstrang. *b* Infektionsfaden in einer Zelle des Wurzelgewebes. *c* drei reich mit Bakterien erfüllte Zellen aus dem Bakteroidengewebe eines Knöllchens. *d* normale, *e* in Bakteroiden umgewandelte Knöllchenbakterien. *f* durchschnittenen, schwach vergrößertes Knöllchen; die dunkleren Stellen sind das Bakteroidengewebe. *a*—*c* stark, *d*, *e* sehr stark vergrößert

infolgedessen eine lebhafte Zellwucherung eintritt, ähnlich wie sie etwa durch den Stich einer Gallwespe im Eichenblatt hervorgerufen wird. Bei der Zellteilung wird stets ein Teil der Bakterien in die neu entstandenen Zellen übernommen, so daß das Plasma aller Zellen des Knöllchengewebes zuletzt reichlich Bakterien enthält.

Mit der fortschreitenden Entwicklung der Knöllchen treten Veränderungen in der Gestalt der Bakterienzellen ein. Zuerst hört ihre Vermehrung noch nicht auf, aber es bilden sich mannigfaltige Verzerrungen des ursprünglich ziemlich geraden Stäbchens, es treten allerlei Buckel und Vorsprünge auf, die Zellen ver-

größern sich dabei bedeutend, und schließlich sehen sie den ursprünglichen Bakterien gar nicht mehr ähnlich. Sie werden in diesem Zustand als Bakteroiden bezeichnet und sind zweifellos als unter dem Einfluß des pflanzlichen Plasmas entstandene Zerrformen, Involutionsformen, zu bezeichnen. In diesem Zustande verharren dann die Bakterien, ohne abzusterben, lange Zeit, oft bis die ganzen Knöllchen zerfallen, in andern Fällen scheinen sie vom Plasma der Leguminosenzellen aufgelöst zu werden, doch ist dies jedenfalls der seltenere Vorgang.

Man könnte die Beziehung der Knöllchenbakterien zu den Leguminosen als eine rein parasitische bezeichnen, wenn nicht die Pflanze ganz zweifellos beträchtliche Mengen stickstoffhaltiger Produkte von den Bakterien bezöge. In Kulturen, in denen die Bakterien nicht in Symbiose mit Leguminosen leben, scheinen sie geringe Mengen elementaren Stickstoff zu binden, wenn ihnen genügend vergärbare Kohlehydrate, z. B. Traubenzucker, zur Verfügung stehen. Doch haben manche Forscher dabei keine positiven Resultate erhalten, so daß diese Frage einstweilen noch nicht ganz sicher entschieden ist. Dagegen findet zweifellos eine starke Bindung von elementarem Stickstoff in den Knöllchen statt, und wenn auch der Prozeß selbst unbekannt ist, so darf man doch mit Recht annehmen, daß diese Stickstoffassimilation durch die Bakterien bewirkt wird. Die dazu nötige Energie gewinnen die Bakterien durch Vergärung von Kohlehydraten, die ihnen von der Leguminose geliefert werden. Ein Teil der entstehenden Stickstoffverbindungen wird nun den Bakterien durch das Plasma der Pflanzenzellen entzogen, so daß eine Anreicherung von stickstoffhaltigen Verbindungen in der Pflanze selbst stattfindet.

Die dabei beobachteten Einzelheiten beleuchten trotz ihrer Lückenhaftigkeit doch das eigentümliche Verhältnis, in welchem die beiden so grundverschiedenen Organismen zueinander stehen. So lange der Pflanze noch stickstoffhaltige anorganische Verbindungen, besonders Salpeter, im Boden zur Verfügung stehen, unterbleibt eine Stickstoffsammlung; auch scheint das Vorhandensein von Salpeter im Boden die Infektion der Wurzeln mit Knöllchenbakterien zu erschweren oder zu verzögern. In den Knöllchen, die sich aber trotzdem entwickeln, findet nur eine mäßige Bakterienvermehrung statt, und in den Bakteroiden unterbleiben die eigenartigen Differenzierungen im Plasma, die sofort eintreten, wenn Stickstoffspeicherung beginnt. Ist der im Boden vorhandene Salpeter von der Pflanze verbraucht, so beginnt eine lebhaftere Entwicklung der Knöllchen; nach einiger Zeit sondert sich das Plasma der Bakteroiden in zwei sich Reagentien gegenüber ganz verschieden verhaltende Teile, und nachdem die Pflanze eine Zeitlang alle Erscheinungen des Stickstoffmangels gezeigt hat, tritt nun auf einmal Stickstoffanreicherung ein. Es ist wahrscheinlich, daß ein Teil der organischen Stickstoffverbindungen, die in den Bakterien gebildet werden, durch ein in den Knöllchenzellen vorhandenes eiweißlösendes Enzym ausgezogen und dem Plasma der Wurzelzellen zugeführt wird, denn es wurden große Mengen eines gelösten Eiweißkörpers in den Knöllchen gefunden.

Auf der Fähigkeit der Leguminosen, in Symbiose mit Knöllchenbakterien Stickstoff zu speichern und vor Verbrauch des Stickstoffs bei der Samenbildung unter-

gepflügt, dem Boden zuzuführen, beruht die in der Praxis längst angewandte Gründüngung zur Verbesserung der Ertragsfähigkeit des Ackers. Schon im Altertum war der Wert der Gründüngung bekannt, und schon seit langer Zeit wußte man, daß eine Erhöhung des Stickstoffgehaltes des Bodens durch Leguminosen erfolgte, doch war der ursächliche Zusammenhang der Stickstoffspeicherung mit dem Vorhandensein der Knöllchenbakterien unbekannt. Das Vorhandensein der Knöllchen bewirkt aber nicht nur eine Stickstoffanreicherung des Bodens, sondern auch ein besseres Gedeihen der Leguminosen selbst, und die hierüber gewonnenen Erfahrungen führten zu verschiedenen Versuchen, die Knöllchenbakterien im Dienste der Landwirtschaft zu verwerten.

Es stellte sich bei diesen Untersuchungen heraus, daß ein etwa aus den Knöllchen der Lupine gezüchtetes Bakterium nicht ohne weiteres auf alle Leguminosen übertragbar war, sondern daß anscheinend fast jede Leguminosenart ihre eigenen Knöllchenbakterien besitze. Morphologisch und kulturell waren erhebliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Knöllchenbakterien allerdings nicht zu erkennen, aber bei Organismen, bei denen überhaupt noch oft vergeblich nach wirklich brauchbaren systematischen Merkmalen gesucht wird, wie bei den Bakterien, konnte dies schließlich nicht befremden, und man war anfangs geneigt, alle Formen für wirklich verschiedene Arten zu halten. Bestärkt wurde man zunächst hierin noch dadurch, daß ein Knöllchenbakterium nicht auf einem Nährboden mit dem von einer andern Leguminosenart hergestellten Absud wachsen wollte. Indessen gelang später doch auch eine Angewöhnung, und zuletzt konnte man die meisten Formen ineinander umzüchten. Man nimmt deshalb jetzt nur ein oder zwei verschiedene Bakterienarten als Erreger der Knöllchenbildung an und betrachtet die andern nur als biologische Formen, die durch Gewöhnung an bestimmte Pflanzenarten entstanden sind.

Für die praktische Anwendung der Knöllchenbakterien in der Landwirtschaft war aber trotzdem die Spaltung in so zahlreiche biologische Formen von hoher Bedeutung. Denn es war anzunehmen, daß wenn auf einem Boden eine bestimmte Leguminosenart noch nicht gebaut war, auch die betreffenden Knöllchenbakterien fehlen würden, so daß der Ertrag auf diesem Felde ein geringerer sein müßte. Diese Erscheinung stellte sich auch in der Tat z. B. auf frisch in Kultur genommenem Moorboden ein. Um diesem Übelstande abzuhelpen, brachte man unter dem Namen Nitragin Kulturen der verschiedenen Knöllchenbakterien in den Handel, mit denen der Boden oder die Samen der betreffenden Leguminosen geimpft wurden. Doch hat der Erfolg den daran geknüpften Erwartungen nur in besonderen Fällen entsprochen.

Es ist kein Zweifel, daß wir in den Knöllchenbakterien Formen zu erblicken haben, die zu der großen Gruppe der Bodenbakterien gehören. Ihre Lebensweise wird im Boden wahrscheinlich im allgemeinen eine rein saprophytische sein, bis sie einmal mit Wurzelhaaren einer ihnen zusagenden Leguminose in Berührung kommen; hier beginnt aber ein Wendepunkt in ihrer Lebensweise, denn das Eindringen in das Wurzelhaar, die Vermehrung in diesem und in dem Plasma der befallenen Knöllchenzellen ist offenbar durchaus parasitischer Natur. In der Tat

können auch die parasitischen Eigenschaften der Knöllchenbakterien unter besonderen Verhältnissen so stark hervortreten, daß die befallenen Pflanzen darunter leiden und eine Stickstoffansammlung ganz unterbleibt, weil die pflanzlichen Zellen nicht die Kraft haben, den Bakterien Eiweißkörper zu entziehen. Im Gegensatz dazu kommt es mitunter auch nicht einmal zu einem Eindringen der Bakterien in die Zellen der Wurzelhaare, oder wenn sie eindringen, werden sie vom Plasma der Pflanzenzellen so rasch absorbiert, daß es zu keiner Knöllchenbildung und damit natürlich ebenfalls nicht zu einer Stickstoffanreicherung kommt. Der Grad der Virulenz ist also bei diesen Bakterien außerordentlich verschieden und kann künstlich in Kulturen gesteigert oder vermindert werden. Zwischen beiden Extremen liegen nun alle möglichen Zwischenformen, bei denen es zur Knöllchenbildung und meist auch zur Stickstoffsammlung kommt.

Ähnliche Knöllchenbildungen finden sich auch bei den Erlen und Elaeagnaceen, doch sind die Organismen, die hier die Knöllchen hervorrufen, in bezug auf ihre systematische Stellung noch sehr wenig bekannt; ein Teil der Forscher hält sie für Pilze, ein anderer für Bakterien. Doch tragen sie jedenfalls in ähnlicher Weise, wie die Knöllchenbakterien der Leguminosen, zur Stickstoffanreicherung bei und stehen wohl zu ihren Wirtspflanzen auch in einem ganz ähnlichen symbiotischen Verhältnis.

III. KAPITEL.

Symbiosen zwischen Algen und niederen Tieren

Merkwürdiger noch als die in den beiden vorhergehenden Kapiteln erläuterten Beziehungen zwischen verschiedenen Pflanzen sind die zwischen Algen und ganz verschiedenen Klassen angehörigen Tieren. Von Algen sind es allerdings nur wenige, hauptsächlich der Gattung *Chlorella* angehörige einzellige, chorophyllgrüne Formen, die zu dieser Art der Symbiose neigen, von Tieren dagegen kommen Infusorien, Polypen, Süßwasserschwämme und selbst Würmer als Symbionten mit Algen in Betracht.

Bei einem Infusorium, *Stentor polymorphus*, kommen zwei verschiedene Formen vor, von denen die eine dicht unter dem Hauptplasma eine Schicht grüner Körner besitzt, die der andern Form fehlt; sonst unterscheiden sie sich in Nichts voneinander, und man ist deshalb berechtigt, sie nur als verschiedene Formen ein und derselben Art anzusehen. Das mikroskopisch kleine Tierchen lebt hauptsächlich von kleinen Algen, Flagellaten usw., die es durch seine Mundöffnung aufnimmt und in verschiedenen Verdauungsvakuolen unterbringt. Solche oft dicht mit Algen angefüllte Verdauungsvakuole finden sich zerstreut im Plasma an verschiedenen Stellen des Körpers und sind auch bei der grünen Form deutlich von der Schicht grüner Körper unter der Außenhaut zu unterscheiden. Sehr oft bleiben die aufgenommenen Algen auch in den Verdauungsvakuolen längere Zeit am Leben und können sich sogar noch öfters in ihnen vermehren, was ein Beweis dafür

ist, daß manche Arten der verdauenden Tätigkeit des Tieres einen starken Widerstand entgegensetzen.

Die unter der Hautschicht befindlichen grünen rundlichen Gebilde gleichen nun in jeder Hinsicht vollkommen den Zellen einer auch frei im Wasser vorkommenden Alge (*Chlorella vulgaris*), sie stellen einen von einer deutlich erkennbaren Membran umgebenen, mit Chromatophoren und allerdings schwierig sichtbar zu machendem Zellkern erfüllten rundlichen Körper dar, der sich eben durch diese Eigentümlichkeiten ohne weiteres von den Chlorophyllkörnern der Pflanzen unterscheidet. Wenn nun zwar bisher auch Kulturversuche der Chlorophyllkörper von *Stentor* fehlgeschlagen sind, so sind sie doch mit den ganz gleichen des grünen Süßwasserpolyphen (*Hydra viridis*) gelungen.

Der Wasserpolyph kommt auch in zwei verschiedenen nur durch das Vorhandensein oder Fehlen des Chlorophylls verschiedenen Formen (*Hydra viridis* und *H. fusca*) vor. Das kleine, nur einige Millimeter bis 1 cm lang werdende Tierchen sitzt mit einem Stiel an Wasserpflanzen oder andern im Wasser befindlichen Gegenständen fest und streckt in der Ruhe seine einziehbaren Fangarme, die mit den charakteristischen Nesselkapseln versehen sind, aus. Untersucht man einen solchen Arm bei stärkerer Vergrößerung, so sieht man eine farblose, aus deutlich voneinander getrennten Zellen gebildete und die Nesselkapseln enthaltende Hautschicht und darunter eine Zelllage, in welcher nach außen die grünen Chlorophyllkörper gelagert sind. Sie haben sehr verschiedene Größe, unterscheiden sich aber auch hierin nicht von den freilebenden Chlorellen. Außerdem kommen zuweilen kleine rote Pigmentkörper in den Hydrazellen vor, die Beijerinck als verdaute Chlorellen ansieht, da sie durch alle Zwischenformen in die grünen Körper übergehen. Es ist nun dem eben genannten Forscher gelungen, durch Zerreiben von Süßwasserpolyphen auf peptonhaltiger Gelatine die grünen Körper außerhalb des Tierkörpers zum Wachstum zu bringen und damit ihre Identität mit der frei im Wasser vorkommenden *Chlorella vulgaris* nachzuweisen.

Umgekehrt gelang es aber weder bei *Stentor* noch bei *Hydra*, aus den braunen Formen die grünen zu erhalten, auch wenn sich die ersteren in reichlich mit Chlorellen erfülltem Wasser befanden. Beijerinck schließt daraus, daß eine Entstehung der Symbiose gegenwärtig nicht mehr oder doch nur sehr schwierig zustande kommt; die aufgenommenen Chlorellen wanderten in die Verdauungs-

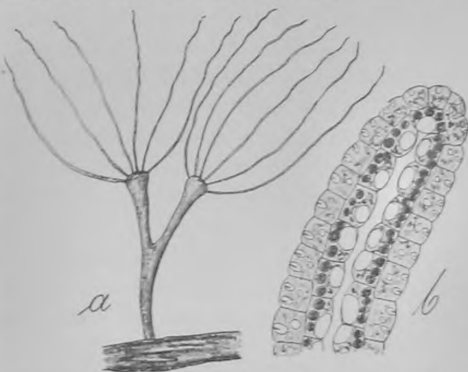


Fig. 161. *Hydra viridis*. a Polyp bei schwacher Vergrößerung. b Ende eines Armes, stark vergrößert; die dunklen Körper der inneren Zellschicht stellen die Chlorellen dar

blasen, wo sie entweder bald abstarben oder sich auch noch eine Zeitlang vermehrten.

Die Möglichkeit, daß die in den Zellen der Hydra lebenden Chlorellen gelegentlich, unter zurzeit noch unbekannten Bedingungen, von dem tierischen Plasma verdaut werden, ist durch das Vorhandensein der roten Pigmentkörperchen, sowie der Zwischenstufen zwischen diesen und normalen grünen Körpern ziemlich sichergestellt. Wahrscheinlich sind es die kleinsten und am wenigsten widerstandsfähigen Chlorellen, die diesem Schicksal verfallen, während die größeren und kräftigeren zwar auch durch die Einwirkung der tierischen Zellen leiden, aber doch der Verdauung widerstehen und sich weiter entwickeln und teilen. Sie liefern aber jedenfalls einen Teil ihrer Assimilationsprodukte an die tierischen Zellen ab. Denn während die braune Form in filtriertem Grabenwasser, das also keine als Nahrung dienende Tierchen mehr enthält, verhungert und zugrunde geht, erhält sich die grüne, wenn auch ihre Entwicklung verzögert wird. Das ist nur dadurch zu erklären, daß in dem filtrierten Wasser die Hydra durch die Assimilationsprodukte der grünen Chlorellen erhalten wird. Ob letztere von den Polypen Eiweißkörper als Gegenleistung erhalten, erscheint fraglich, wohl aber müssen den grünen Zellen Salze und Wasser von dem Tier geliefert werden.

Ein reines Gegenseitigkeitsverhältnis liegt nun allerdings hier nicht vor, im Gegenteil, die Alge ist jedenfalls der allein leidende, der Polyp der allein Vorteil ziehende Teil; denn Salze und Wasser würde die Alge auch ohne den Polypen in hinreichender Weise erhalten, während umgekehrt der Polyp ohne die Alge auf deren Assimilationsprodukte verzichten und bei Nahrungsmangel absterben müßte. Die Chlorellen sind aber schon so sehr Bestandteile der grünen Hydra geworden, daß sie selbst in die Fortpflanzungskörper derselben übergehen.

Soweit ist die Symbiose zwischen den Chlorellen und dem grünen Süßwasserschwamm (*Spongilla fluviatilis*), der auch in einer braunen, chlorellenfreien Form vorkommt, noch nicht gediehen; hier sind die Keimzellen stets farblos und frei von Chlorellen, und auch in den Zellen der ausgebildeten Schwämme fehlen sie stellenweise. Es ist also zweifellos, daß sie hier erst nachträglich einwandern, und daß die Symbiose zwischen Schwamm und Alge erst während der Entwicklung des ersteren beginnt, also noch nicht vererbt wird. Dagegen sind umgekehrt bei einem Strudelwurm (*Convoluta Roscoffensis*) Zoochlorellen gefunden worden, die ihre Selbständigkeit fast ganz aufgegeben haben und von denen auch nicht zu erwarten ist, daß sie noch imstande sind, sich außerhalb des tierischen Körpers zu entwickeln. Sie sind fast auf die Stufe von Chlorophyllkörnern herabgesunken und haben ihre Zellmembran vollständig eingebüßt.

IV. KAPITEL

Pflanzen und Ameisen

Die überaus mannigfaltigen Beziehungen, welche zwischen Pflanzen und Ameisen herrschen, fallen freilich nicht mehr unter den Begriff Symbiose; aber Anklänge daran sind noch vielfach vorhanden, und es bildet sich ein eigenartiges Genossenschaftsleben aus, wobei in manchen Fällen beide Teile ihren Vorteil finden.

Es ist aber ausdrücklich hervorzuheben, daß ein sehr großer Teil der im Folgenden besprochenen Beziehungen zwischen Pflanzen und Ameisen auch anders gedeutet werden kann und daß insbesondere viele Einrichtungen der Pflanzen, die hier als Anpassungserscheinungen an das Zusammenleben mit Ameisen betrachtet werden, durchaus nicht sicher als solche zu bezeichnen sind. Die Ansichten hierüber sind noch sehr geteilt, und man neigt zur Zeit mehr dazu, vielen dieser als ausgesprochen „myrmekophil“ geltenden Pflanzen diese Eigenschaft abzusprechen. Und es ist in der Tat wahrscheinlich, daß viele Eigentümlichkeiten im Bau der Ameisenpflanzen — z. B. die Wohnräume bei *Cecropia* usw. — ursprünglich gar nichts mit den Ameisen zu tun hatten, sondern ganz andern Zwecken dienten und noch dienen. Aber die hochbegabten Ameisen haben sich dieser Einrichtungen in oft ausgiebigem Maße bedient und dadurch doch ein gewisses Gegenseitigkeitsverhältnis hergestellt, wenn auch die Pflanze dabei oft nur passiv beteiligt ist.

Als Ameisenpflanzen oder myrmekophile Pflanzen bezeichnet man alle diejenigen Arten, die mit den Ameisen in einem gewissen Gegenseitigkeitsverhältnis stehen, ihnen Unterkunft und Nahrung oder nur das eine oder andere bieten und dafür Schutz gegen schädliche Tiere, besonders Insekten erhalten. Wir wollen diese Bezeichnung im Folgenden beibehalten, aber ohne die Voraussetzung, daß sich bei den Pflanzen Wohnräume und Nahrung nur als Anpassungserscheinungen für das Zusammenleben mit den Ameisen entwickelt haben; inwieweit dies der Fall ist, ist im einzelnen zur Zeit noch sehr umstritten.

Am häufigsten findet sich ein gewisses Schutzverhältnis, in welchem Ameisen und Pflanzen stehen, aber der Grad der Entwicklung, den diese Schutzverhältnisse erreichen, ist ein überaus verschiedener. Im einfachsten Falle suchen die Ameisen an allerlei Pflanzen nach Beute und nehmen an Insekten, was sie bekommen können, Raupen, Käfer, die an Pflanzen fressen, und von denen sie die letzteren befreien. Ein solches Verhältnis ist natürlich nur ein ganz dem Zufall unterworfenes, nichtsdestoweniger werden aber Bäume, die in der unmittelbaren Nähe größerer Ameisenkolonien stehen, mehr gegen Insektenfraß geschützt sein, als entferntere, welche nicht so regelmäßig besucht werden.

Ferner werden Pflanzen, die aus irgend einem Grunde den Ameisen Annehmlichkeiten bieten, natürlich lieber besucht, als andere; ein hohler Baum, der in seinem Innern einer mehr oder weniger großen Zahl dieser Insekten Unterschlupf bietet und deshalb von ihnen bevölkert wird, bleibt von Raupenfraß verschont,

Andrerseits werden glattrindige Pflanzen, die das Erklettern für Ameisen schwierig machen, von diesen gemieden.

Aus solchen unscheinbaren und zufälligen Begünstigungen des Ameisenbesuches



Fig. 162. *Acacia cornigera*, Zweig in natürl. Größe

haben sich dann wahrscheinlich die komplizierten Verhältnisse entwickelt, wie wir sie bei den typischen Ameisenpflanzen finden, von denen wir zunächst eine Akazienart, *Acacia cornigera* als klassisches Beispiel betrachten wollen. Diese mehr buschig wachsende Akazie lebt in Mittelamerika und ist dort vielen Feinden aus

der Insektenwelt, besonders auch den Blattschneiderameisen, deren eigenartige Lebensweise am Schluß des Kapitels besprochen werden soll, ausgesetzt. Sie besitzt zierliche, wiederholt gefiederte Blätter mit kleinen Blättchen und zu Dornen von zweierlei Größe umgewandelte Nebenblätter. Ein Teil der Dornen ist klein, dünn und spitzstachlig, ein anderer sehr vielmal größer, dick aufgeblasen und innen hohl (vgl. Fig. 162). Sie dienen gewissen Ameisenarten als Aufenthalt, indem diese an einer Stelle ein Loch in den jungen Stachel beißen, so daß sie bequem ein- und auskriechen können. Die Pflanze sorgt also durch diese großen Stacheln für Wohnung. Sie geht aber noch weiter und sorgt auch für die Nahrung der sie bewohnenden Ameisen; am Ende jedes der Fiederblättchen entsteht ein winzig kleines, eben noch als punktförmiges, etwas längliches Körperchen erkennbares weißes Spitzchen, welches Eiweißstoffe enthält und mit dem treffenden Namen „Ameisenbrot“ bezeichnet wird (Fig. 163). Ähnliche Körperchen entstehen auch an Ameisenpflanzen ganz anderer Art; sie wurden zuerst von dem bekannten Pflanzenbiologen Fr. Müller bei *Imbauba* gefunden und nach ihm Müllersche Körperchen genannt. Wir wollen diesen Namen auch für analoge Bildungen an anderen Pflanzen festhalten, die ganz überflüssigerweise mit andern Namen — bei *Acacia cornigera* z. B. als Beltsche Körperchen nach ihrem Entdecker — bezeichnet werden.

Die Müllerschen Körperchen enthalten außer Eiweißstoffen meist auch reichliche Mengen von Fetten, Ölen und werden von den Ameisen offenbar mit großer Vorliebe gefressen. Außerdem finden sich auf den Blattstielen noch napfförmige Sekretionsorgane, die man als extraflorale Nektarien bezeichnet, und die eine zuckerhaltige Flüssigkeit absondern. Für die Ernährung einer beträchtlichen Anzahl Ameisen wird also von der Akazie dauernd gesorgt, ebenso für Wohnräume, und dafür gewähren die Ameisen der Pflanze Schutz gegen Insekten. Akazien, welche diese Schutzameisen nicht beherbergen, sind immer mehr oder weniger kahl gefressen, da besonders die Blattschneiderameisen erpicht auf das Laub sind.

Eine andere, systematisch weit entfernt stehende, in ihren Einrichtungen aber mancherlei Übereinstimmendes bietende Ameisenpflanze ist *Cecropia adenopus*, eine zu den Moraceen gehörige Art. Es sind niedrige Bäume mit handförmig geteilten, lang gestielten Blättern und großem gefächerten Mark, welches zuletzt sehr große Hohlräume besitzt. Außen laufen an den Stämmchen den Hohlräumen entsprechende kleine seichte Rinnen entlang, die am oberen Ende einen deutlichen Eindruck zeigen, unter welchem die Wand des Hohlraumes besonders dünn ist. Hier nagen auch die Ameisen — hauptsächlich Arten der Gattung *Azteca* — die Wandung durch, besiedeln die Hohlräume und übernehmen den Schutz der von ihnen bewohnten Pflanze. Die Wohnungen sind hier sehr geräumig und können



Fig. 163. *Acacia cornigera*, Blättchen mit Müllerschen Körperchen, schwach vergr.

sehr beträchtliche Mengen von Ameisen unterbringen, da die jungen Sprosse einer *Cecropia* ungefähr so gebaut sind, wie die Stengel unserer Doldengewächse, also nur aus einer dünnen Wand und einem verhältnismäßig mächtigen hohlen Innenraum bestehen. Dieser ist freilich durch Querwände mehr oder weniger reich in übereinanderliegende Stockwerke geschieden, aber die Querwände bestehen aus äußerst zarten, leicht von den Ameisen zu zernagenden Geweben, so daß die Herstellung von Türen zwischen den einzelnen Etagen auf keine Schwierigkeiten stößt.

Außerdem bieten die *Cecropien* den Ameisen ebenfalls Nahrung in reichlichem

Maße; am Grunde der Blattstiele befindet sich eine schwach polsterartige mit einer feinen sammetartigen dichten Haarschicht überzogene Erhöhung, auf welcher zwischen den Haaren sich Müllersche Körperchen finden (Fig. 164). Werden dieselben von den Ameisen gefressen, so wachsen immer wieder neue nach, so daß der Tisch der Schutztruppen immer reichlich gedeckt ist. Denn auch hier übernehmen die mutigen, sehr kampflustigen und giftigen Ameisen die Verteidigung der von ihnen bewohnten Pflanze selbst gegen die größten Tiere, und wenn sie auch hier machtlos sind und ihren Heldenmut selbst mit dem Tode bezahlen, so gelingt ihnen doch die Abwehr der kleineren Feinde, zu denen auch bei *Cecropia* die Blattschneiderameisen als die schlimmsten gehören. Man kann den *Cecropien* gewöhnlich schon von weitem ansehen, ob sie von Schutzameisen bewohnt sind oder nicht; im ersteren Falle sind sie meist voll belaubt, im letzteren stehen von den Blättern oft nur



Fig. 164. *Cecropia*. Blattpolster mit Müllerschen Körperchen, natürl. Größe

noch die Mittelrippen, während die eigentliche Blattlamina weggefressen ist.

Müllersche Körperchen kommen anscheinend gar nicht so selten in den Tropen vor und scheinen auch bei Pflanzen, die den Ameisen keine Wohnräume gewähren, doch im wesentlichen zur Anlockung und Ernährung solcher Beschützer zu dienen. Man findet aber manchmal auch ähnliche Gebilde, über deren Bedeutung Zweifel herrschen, so beim wilden Wein (*Ampelopsis quinquefolia*), der an jungen Trieben, besonders an jungen Blattstielen und stellenweise selbst auf der Unterseite der Blattrippen kleine leicht ablösbare Körnchen trägt, die den Müllerschen Körperchen sehr ähnlich sind und ursprünglich wohl auch denselben Zweck gehabt haben mögen. Diese gestielten Perldrüsen sind ebenfalls reich an Eiweißstoffen, aber wasserreicher und ärmer an fetten Ölen; sie werden auch bei uns von manchen Ameisenarten abgelöst und fortgeschleppt, ein Verzehren an Ort und Stelle habe ich nicht beobachten können.

Weniger entwickelt ist die Myrmekophilie bei einer Anzahl anderer Ameisenpflanzen. Zu den Rubiaceen gehören deren über 60, und unter ihnen ist wieder die Gattung *Myrmecodia* die bekannteste. Die auf den Sundainseln lebende *M. echinata* ist ein kleiner epiphytischer Halbstrauch mit eigentümlich knollenförmig angeschwollener Stammbasis. Die oft sehr groß werdende Knolle, die, wie andere ähnliche Bildungen nach Goebel eigentlich wohl ein Organ zur Wasserspeicherung darstellt, ist außen bestachelt, innen zeigt sie eine große Anzahl kammerartiger Hohlräume von verschiedener Größe, die vielleicht als Mittel dienen, das Gewicht der Knolle herabzusetzen, aber fast stets von Schutzameisen bewohnt

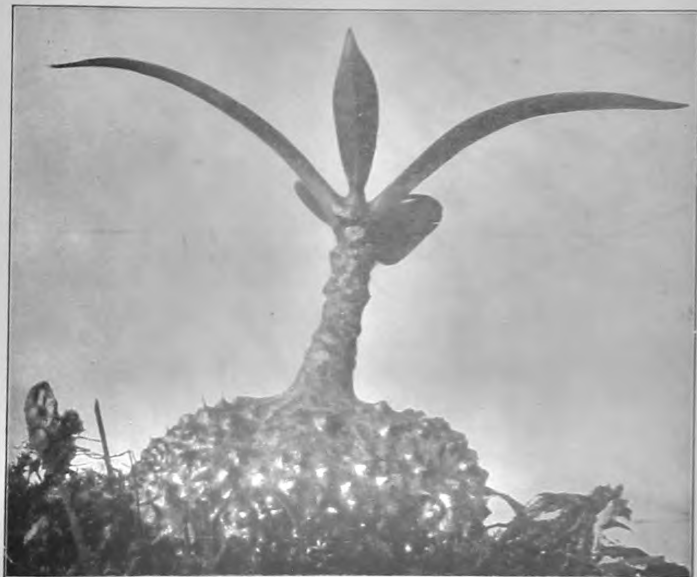


Fig. 165. *Myrmecodia echinata*, junges Exemplar

werden. Schon eine sehr geringe Erschütterung der Knolle bringt Leben in den Ameisenstaat; die Bewohner stürzen in wilder Hast hervor und suchen nach dem Störenfried, der gewöhnlich vor den empfindlichen Bissen bald das Feld räumt. Baumeidechsen, die zufällig auf eine solche Knolle geraten, lassen sich in jähem Schreck oft fallen, sobald sie die Schutzkolonnen anrücken sehen, denn wenn sie wohl auch gelegentlich Ameisen als Nahrung nicht verschmähen, so sind sie anscheinend gegen die Bisse derselben sehr empfindlich. Auch anfliegende größere Insekten werden rasch vertrieben. Dabei ist es aber nicht bekannt, daß die *Myrmecodia* den Ameisen irgendwelche Nahrung bietet.

Ähnlich verhalten sich die knollenbildenden *Hydnophytum*arten, die ebenfalls zu den Rubiaceen gehören und der Gattung *Myrmecodia* nahe verwandt sind. Bei andern Angehörigen dieser Familie aber finden sich Wohnräume in den Stengeln und Ästen, ähnlich wie bei *Cecropia*, bei der *Duroia* sogar eigentümliche

Blasen am Grunde der Blätter. Auch die zu den Melastomaceen gehörige *Tococa formicaria* hat solche eigentümliche Blasen am Grunde der Blattspreite, die von Ameisen bewohnt sind, aber Nahrung liefern diese Ameisenpflanzen ihren Beschützern anscheinend nicht.

In einer ganz anderen Beziehung stehen die sogenannten Blattschneiderameisen



Fig. 166. *Tococa formicaria*, Pflanze mit Ameisenblasen am Grunde der Blattspreite

zu den Pflanzen. Es sind dies hauptsächlich der Gattung *Atta* angehörende Arten, die, wie durchaus sichergestellt ist, ausschließlich auf die Ernährung durch einen bestimmten Pilz angewiesen sind und verhungern müssen, wenn ihnen dieser Pilz fehlt. Sie treiben deshalb auch in ausgesprochener Weise Pilzzucht, und um diesen zu ernähren, müssen sie große Mengen grüner Blattsubstanz zu einem Teig verarbeiten, der in ihren Bauen angehäuft und dann von dem Pilz durchwachsen wird. Am besten bekannt sind die durch Möller genauer studierten Verhältnisse bei den brasilianischen Blattschneiderameisen.

Die brasilianischen Blattschneider verschonen nur giftige oder unangenehm riechende und schmeckende Blätter oder Pflanzen, die von Schutzameisen bewohnt sind, sie haben aber doch für einzelne Arten eine besondere Vorliebe. So lassen sich Rosen in manchen Gegenden Brasiliens überhaupt nicht erhalten, weil sie den Blattschneidern verfallen. Diese rücken in ganzen Heeren aus, wandern an den Bäumen in die Höhe bis zu den Blättern, schneiden aus diesen ein ungefähr halbpenniggroßes Stück mit ihren scharfen Kiefern heraus und treten, dieses hoch erhoben haltend, ihren Rückweg nach dem Bau an. Diese Wanderung mit Blattstücken dauert so lange, bis der Baum kahl ist, dann wird ein anderer aufgesucht und hier das Zerstörungswerk weiter fortgesetzt.

Die Blattschneider brauchen viel Blattsubstanz zu ihrer Pilzkultur; sie zerkleinern die Stücke im Bau und bilden einen dicken Brei daraus, der dem Pilz als Nahrung dient. Der Pilz selbst, *Rozites gongylophora*, ist zwar bisher nur in den Bauten der Blattschneider gefunden worden, doch ist damit noch nicht gesagt, daß er außerhalb derselben nicht vorkommen könne. Es ist ein Hutpilz, der jedoch nur in verlassenen Ameisenhaufen zur Fruchtbildung kommt, weil alle aus dem Brei in die Luft sich erhebenden Hyphen von den Ameisen sofort abgebissen werden. Durch diese eigentümliche, die Bildung der Fruchtkörper verhindernde Tätigkeit der Ameisen wird dagegen die vegetative Entwicklung des Pilzes sehr angeregt und gefördert, besonders entstehen Gruppen von am Ende mehr oder weniger stark keulenförmig angeschwollenen Hyphen, die als Kohlrabihäufchen bezeichnet werden und die wohl die einzige Nahrung der Ameisen bilden; sie verhungern wenigstens, wenn ihnen der Pilz mit seinen Kohlrabihäufchen fehlt, während umgekehrt der Pilz nur solange Kohlrabihäufchen bildet, als er sich in der Kultur der Ameisen befindet und von diesen gewissermaßen unter der Schere gehalten wird.

Die teigige Blattmasse sieht einem großporigen Schwamm in der Struktur ähnlich und ist von zahlreichen größeren und kleineren Hohlräumen durchsetzt, in denen sich dann an der Oberfläche die Kohlrabihäufchen bilden. Die ganze künstliche Anlage wird als Pilzgarten der Ameisen bezeichnet, und bei der Abhängigkeit der Ameisen von dieser ganz speziellen Nahrung ist es selbstverständlich, daß sie eifrig bemüht sind, sich den Pilz zu erhalten und rein zu erhalten. Sie „jäten“ gewissermaßen alles Unkraut, und das sind hier die verschiedensten Schimmelpilze und Bakterien, aus; wie sie das machen, ist freilich für uns ein Rätsel, namentlich, daß sie auch die Bakterien aus dem in Zersetzung begriffenen Teig fernhalten. Wahrscheinlich spielt die Reaktion des Substrates dabei eine Hauptrolle, und außerdem sind auch diese Verhältnisse noch nicht hinreichend untersucht, so daß der Ameisenpilz möglicherweise nicht völlig rein, sondern nur in weit überwiegender Menge auftritt.

Teilt sich ein Ameisenvolk oder findet ein Umzug statt, so wird der Pilz mitgenommen, in letzterem Falle wird sogar jede Spur des Pilzgartens in den neuen Bau mitgetragen. Es gelang Möller, an gefangenen Attaarten die Anlage der Pilzgärten zu beobachten. Die Blattstücke werden zuerst zerkleinert, die kleinsten Stückchen durch Einkneifen und Ritzen weich gemacht und zu kleinen Kugel-

chen zusammengeknetet, welche dann in die Masse eingefügt werden. Der Pilz wächst sehr schnell und hat mit seinen Fäden schon am Nachmittag die morgens eingebauten Blattstückchen durchzogen. Möller selbst beobachtete niemals fremde Pilze oder Bakterien in diesen Pilzgärten, konnte auch durch Kulturen immer nur den *Rozites gongylophora* erhalten. Er nimmt an, daß eine Gruppe besonders kleiner Arbeiterinnen diese Reinhaltung der Pilzgärten, das Ausjäten der Unkräuter übernimmt, während die größeren Arbeiterinnen nur die Herbeischaffung des Materials und die Bereitung des Nährbodens besorgen. Auch das Abbeißen der Lufthyphen und damit die Verhinderung der Gonidien- und Fruchtkörperbildung übernehmen die kleinsten Arbeiter, so daß diesen also überhaupt die eigentliche Pilzkultur obliegt.

Daß auch der Pilz allmählich in eine gewisse Abhängigkeit von den Ameisen geraten ist, darf als sehr wahrscheinlich angenommen werden, denn er ist überhaupt noch nicht anderswo als in den Wohnstätten der Blattschneiderameisen gefunden worden. Wo sich die selten gefundenen, unseren Blätterschwämmen ähnlichen Fruchtkörper erheben, stehen sie stets auf verlassenen Ameisenbauten, und auch sonst hat man den Pilz noch nicht in sterilem Zustande beobachtet. Es ist also nicht unmöglich, daß er gegenwärtig überhaupt nur in einer Art Symbiose mit den Ameisen vorkommt. Andererseits sind aber die Ameisen so vollkommen von diesem Pilz abhängig, daß sie andere Nahrung auch bei größtem Hunger verschmähen und nur von dem Kohlrabihäufchen und, wenn einmal vorhanden, von dem Fruchtkörper des Pilzes leben. Dabei ist es merkwürdig, daß die verschiedenen Arten der Gattung *Atta* alle denselben Pilz *Rozites gongylophora* und keine andere Art als Kulturpflanze züchten.

Die Pilzzucht wird aber nicht von den Attaarten allein betrieben, auch Höckerameisen (*Cyphomyrmex*) und Haarameisen (*Apterostigma*) sind Pilzzüchter. Aber sie sind keine Blattschneider, sondern füttern ihre Pilze, die von *Rozites gongylophora* verschieden sind, mit allen möglichen anderen Stoffen, besonders mit Holzfasern, mit dem aus den Gängen von Käferlarven im Holz sich bildenden Holzmehl, mit Raupenkot usw., doch stehen ihre Kulturen meist auf einer weniger hohen Stufe der Entwicklung, als die der Blattschneiderameisen. Auch macht sich wieder ein Unterschied zwischen den einzelnen Arten selbst einer Gattung bemerkbar; in den Pilzgärten von *Apterostigma Wasmanni* kommt es noch zur Bildung von Kohlrabihäufchen, indem eine größere Anzahl keulenförmiger Hyphenenden gruppenweise zusammenstehen, während bei den andern Arten dieser Gattung, obgleich sie zweifellos den gleichen Pilz kultivieren, solche Hyphen mit keulenförmigen Enden nur vereinzelt in den Nestern vorkommen. Hier ist also jedenfalls die Art der Behandlung des Pilzes die Ursache der Verschiedenheit, und die eine Ameisenart ist in der Behandlung weiter vorgeschritten als die andere.

Von andern Insekten sind auch die Termiten zum Teil als Pilzzüchter bekannt, ebenso gewisse Borkenkäfer („Ambrosiakäfer“, z. B. *Xyleborus dispar*, *Xyloterus lineatus*) und Gallmücken (*Asphondylia*).

Wie die ersten Anfänge einer solchen merkwürdigen Symbiose entstanden sind,

ist freilich unbekannt, aber man kann sich vorstellen, daß ein zuerst ungewolltes Verschimmeln der von den Ameisen eingetragenen Futtermittel den Anstoß dazu gegeben hat. Pflanzen- und Tierstoffe der verschiedensten Art schimmeln, besonders in dem feuchten Tropenklima rasch, und entweder haben die Ameisen zuerst wahllos die aufsteigenden Pilzhypen mit dem Substrat verzehrt und sich allmählich an diese Kost gewöhnt, oder sie haben versucht, das Substrat von den Pilzen zu befreien und die Hypen, die schließlich die Hohlräume in den Nestern versperrten und die Bewegungsfreiheit der Ameisen einengten, einfach abgebissen. Dabei sind sie vielleicht auf den Geschmack gekommen und haben gefunden, daß die Pilzhypen auch genießbar sind, und da die jungen Pilzhypen weicher, leichter verzehrbar und jedenfalls sehr eiweißreich sind, so haben sie sich allmählich dieser Nahrung zugewendet. Bis zu der höchsten Entwicklung der Pilzkultur, wie wir sie bei den Blattschneiderameisen und *Rozites gongylophora* finden, ist ein weiter Weg, auf dem wir noch alle Zwischenstufen finden. Es gibt Ameisen, die wie *Cyphomyrmex* und *Apterostigma* auch ausschließlich auf Pilzkultur angewiesen sind, deren Pilzgärten aber auf einer niedrigen Stufe stehen. Es gibt aber auch pilzzüchtende Ameisen, die nicht ausschließlich auf diese Pilznahrung angewiesen sind, sondern auch von andern organischen Stoffen nebenbei leben, und schließlich gibt es Arten, die nur gelegentlich und vielleicht nur zufällig Pilzzucht treiben, die vielleicht eben erst auf der Stufe stehen, von der aus die Symbiose zwischen Pilz und Ameise ihren Anfang genommen hat. Jedenfalls sind gerade auf diesem Gebiete auch noch manche interessante Entdeckungen zu erwarten, da bisher nur von wenigen Forschern und nur in einzelnen Gegenden eingehendere Beobachtungen gemacht worden sind.



REGISTER

A

Aasfliegen 69.
 Abstammungslehre 2
 Acacia cornigera 368
 Adansonia digitata 310
 Aecidiosporen 162
 Aecidium Euphorbiae 335
 — elatinum 336
 Aërophyten 195
 Affenbrotbaum 310
 Agrostemma Githago 98
 Albugo candida 329
 Alchemilla vulgaris 100
 Aldrovandia vesiculosa 348
 Alisma Plantago 104
 Alkaloide 182
 Allogamie 106
 Alnus glutinosa 314
 Alpenhexenkraut 99
 Ambrosiakäfer 374
 Ameisenpflanzen 367
 Ampelopsis quinquefolia 370
 Ampelopsis Veitchii 255
 Amphibische Arten 195
 Amphikarp 156
 Anabaena Azollae 323
 — Cycadearum 324
 Anaërobe Bakterien 339
 Andromeda polifolia 210
 Anflugplätze 75
 Angiospermen 41
 Anlockung der Insekten 63
 Anpassungserscheinungen 184
 Anpassungsmerkmale 3. 6
 Antheridium 28
 Antirrhinum 71
 Apterostigma 374
 Arachis hypogaea 157
 Aristolochia Clematidis 91

Ascobolus furfuraceus 149
 Ascosporen 28
 Ascus 28
 Asphondylia 374
 Aspidium filix mas 35
 Asplenium Adiantum nigrum 268
 — adulterinum 268
 — Serpentina 268
 — Trichomanes 268
 — viride 268
 Assimilation 322
 ätherische Öle 181
 Atmung der Wasserpflanzen 191
 Atta 369
 Augentrost 325
 Ausläufer 20
 Ausnutzung des Raumes 250
 Ausschleudern von Samen 147
 Auswintern 242
 Autatrygie 91
 autözische Rostpilze 329
 Auxosporenbildung 24
 Azolla 323
 Azteca 369

B

Balsamine 92. 150
 Barriguda 203
 Bartflechten 262
 Bastard 15
 Bastardbildung 106
 Batrachospermum 131
 Baumwolle 128
 Baumwürger 256
 Behaarung 200
 Berberis 82
 Berberitze 82
 Bergahorn 302

Bergflachs 94. 325
 Bergweidenröschen 98
 Berufskraut, kanadisches 289
 Besenginster 78. 206
 Bewegung bei Bakterien 108
 — bei Algen 108
 — bei Volvox 109
 — Diatomeen 109
 — Oscillarien 110
 — passive der Pflanzen 110
 Bidens 144
 Birkenrinde 231
 Birkenwald 301
 Bitterklee 314
 Blankfröste 242
 Blasentang 193
 Blastophaga grossorum 84
 Blattsukkulente 203
 Blattschneiderameisen 372
 Blendling 15
 Blumenuhr 72
 Blütenpflanzen 38
 Blütenstaub 47. 50
 Blüte 38
 Blutschnee 238
 Bodenabsorption 274
 bodenhold 265
 bodenstet 265
 bodenvag 265
 Borraginaceen 87
 Borsten 172
 Brennhaare 178
 Brennesseln 178. 289
 Brombeersprosse 256
 Bromeliaceen 268
 Brüche 314
 Brutknospen 19
 Bryonia 136. 255
 Buchenwald 299

Buchloë dactyloides 308
 Buffalogras 308
 Buschwälder 298

C

Cajophora lateritia 180
 Calystegia sepium 254
 Cardamine 151
 Carposporen 30
 Cassia 93
 Cecropia adenopus 369
 Ceratodon purpureus 165
 Cereus grandiflorus 72
 Cetraria islandica 319
 Chamaerops humilis 296
 Characeen 31
 chasmogam 105
 chemische Beschaffenheit des Bodens 263
 Chenopodiaceen 267
 Chenopodiaceenwald 302
 Chlamydomonas 26
 — nivalis 38
 Chlorella 364
 Chlorophyll 321
 Christrose 64
 Circaea alpina 99
 Citrullus Colocynthis 207
 Cladonia 319
 Claviceps purpurea 133
 Clematis 253
 Codium tomentosum 43
 Colchicum autumnale 135
 Collinsonia 100
 Conidien 28
 Conjugaten 24
 Convolvula Roscoffensis 366
 Corydalis cava 91
 Cuscuta 332
 Cyphomyrmex 374
 Cystocarp 31
 Cytinus Hypocistus 333

D

Dentaria 151
 Desmidiaceen 24
 Deszendenzlehre 2
 Diatomeen 24
 — Widerstandsfähigkeit 164
 Dichogamie 91
 Digitalis 234
 dimorph 94

Dionaea muscipula 351
 Dipsacus 86
 Disposition 328
 Dornen 173
 Drosera 344
 Drosseln als Verbreiter 138
 Duft 68

E

Ecballium Elaterium 149
 ectotrophe Mykorrhiza 341
 Edelweiß 200
 Efeu 241, 253.
 Ehrenpreis 76
 Elbe 227
 Eichenwald 300
 Einblatt 314
 Einbohren der Samen 154
 Einrichtungen für Transport durch Wind 122
 Einwanderung 288
 Einzelkornstruktur 273
 Eisenhut 96
 Eiweißfäulnis 340
 Eizelle 28
 Elaeagnazeenknöllchen 364
 Elaeis guineensis 310
 Elodea canadensis 46, 54, 118
 Embryosack 39
 Empusa Muscae 148
 Enantystylie 93
 Encystierung 161
 Endosporen 160
 endotrophe Mykorrhiza 343
 Entstehung des Lebens 4
 Ephedra 206
 Epilobium montanum 98
 Epimedium alpinum 100
 Epiphyten 258
 Erdnuß 157
 Erfrieren 239
 Erhaltung der Art 19
 Erigeron canadense 289
 Eriophorum 314
 Erlenknöllchen 364
 Ernährung der grünen Pflanzen 321
 erschöpfte Böden 264
 Ertragen von Trockenheit 164
 Erysiphaceen 29
 Esche 89

Eudorina elegans 26
 Euphorbia grandicornis 206
 Evonymus europaeus 138
 extraflorale Nektarien 85, 369

F

Fackeldisteln 204
 Fakultative Parasiten 227
 Farbe der Blüten 63
 Farbenkontraste 65
 Farne 35
 Fäulnis 338
 Feige 84
 Feldrüster 92
 Fettkraut 340
 Fettpflanzen 203
 Feuchtigkeit 207
 Feuerlilie 116
 Feuerschwamm 326
 Fichtenspargel 67, 341
 Fichtenwald 293
 Ficus Benjaminia 256
 Fingerhut 234
 Flachmoore 314
 Flechten 165, 353
 Flechtenpilze 355
 Flieder 97
 Flugvorrichtungen bei Nadelholzsamen 122
 — bei Eschenfrüchten 123
 — bei Ulmenfrüchten 123
 — bei Ahornfrüchten 123
 — bei Korbblütlern 124
 — bei Pappeln und Weiden 127
 — bei Baumwolle 128
 Flußkorrekturen 290
 Fortpflanzung 21
 Frauenmantel 100
 Fraxinus excelsior 89
 Fremdbestäubung 106
 Fritillaria 97
 Froschlöffel 104
 Fruchtknoten 41
 Fucus vesiculosus 193
 Funaria hygrometrica 119

G

Gaistannli 177
 Galinsoga parviflora 288
 Galium Aparine 146
 Gallenblüten 84

Gallenwespe der Feige 84
 Gallmücken 374
 Galmeipflanzen 269
 Gamanderehrenpreis 76
 Gameten 28
 Gärungen 338
 Gauchheil 60
 Gauklerblume 131
 gefärbte Hochblätter 66
 Geisblatt 70
 Geitonomie 92. 106.
 Gentianaceae 94
 geokarp 156
 Geranium palustre 151
 — pusillum 97
 Gerüche, widerwärtige 181
 Gesellschaftsleben 284
 Giftwirkungen 182
 Gingko biloba 40
 Ginster 78
 Gleditschia 230
 Gonium 26
 Gossypium 128
 Grannen 154
 Grassteppe 305
 Grasvegetation 303
 Grenzschicht 316
 Grünlandsmoore 314
 Gummifluß 169.
 Günsel 105
 Gymnospermen 38
 Gypsophila panniculata 306

H

Haare als Schutz 87
 Haarschopf 125
 Haarüberzug 172
 Hafer 147
 Haftdolden 147
 Hakenklimmer 256
 Halparasiten 330
 Halophyten 266
 Haloxylon 302
 Hanfwürger 331
 Harpagophyton 145
 Harzfluß 170
 Harzüberzüge 202
 Heckenkerbel 147
 Heckenkirsche 99
 Heide 310
 Heidekraut 310. 315
 Helleborus foetidus 92

Herkogamie 93
 Herbstzeitlose 135
 Herzblatt 314
 heterocische Rostpilze 329
 Heterokarpie 158
 Heterophyllie 192
 Heterosporae 35
 Heterostylie 94
 Hexenbesen 336
 Hochmoore 314
 Höhenlage 246
 Höhenzonen 249
 Hollunder 97
 Honigblüten 62
 Honigspalten 63
 Honigtau 133
 Hordeum murinum 147
 Hottonia palustris 95
 Humussäuren 269
 Hybriden 106
 Hydra 365
 Hygrophyten 207
 Hymenophyllum tunbridgensense
 212

I

Ilex aquifolium 241
 illegitime Bestäubung 95
 immerfeuchte Gebiete 216
 immergrüne Wälder 293
 Immunität 328
 Impatiens parviflora 289
 Infektionsfaden 361
 Insektenfangende Pflanzen 344
 Insektennahrung 60
 Isosporae 35
 Impatiens Nolitantare 92. 105.
 150
 Ipomoea purpurea 98

J

Jatropha 181
 Johanniskraut 61
 Jussiaea repens 191
 Juncus bufonius 105

K

Kakteen 204
 kalkliebende Pflanzen 266
 kalkmeidende Pflanzen 266
 Kandelaberbäume 282

Kannengewächse 352
 Kiefer, Lichtbedürfnis 226
 Kiefernwald 293
 Klappertopf 325
 Klebkraut 146
 klebrige Samen 132
 klebrige Stoffe 86
 Kleistogam 103
 Klette 143
 Kletteinrichtungen 143
 Kletterpflanzen 253
 Klima 289
 Knabenkräuter 80
 Knäuel 90
 Knöllchenbakterien 359
 Knöterich 195
 Kochsalz 266
 Kohlensäurer Kalk 203
 Kohlrabihäufchen 373
 Kokospalme 130. 267
 Kolibris 63
 Kompaßpflanzen 229
 Königin der Nacht 72
 Königskerze 60. 200
 Kopulieren 43
 Korallenwurz 340
 Kornrade 58
 Krebs 230
 Kreuzblütler 98
 Kreuzkraut 101. 234
 Kreuzung 13. 44. 89
 Kriechen von Samen und Früch-
 ten 149
 Krötenbinde 105
 Krümelstruktur 273
 Krummholzkiefer 294

L

Labiaten 79
 Lacküberzüge 202
 Lactuca scariola 229
 — virosa 230
 Laichkräuter 92
 Lamium album 79
 — amplexicaule var. clandes-
 tina 103
 Lappa 143
 Lärchenwald 298
 laubabwerfende Gehölze 216
 lederartige Blätter 172
 Ledum palustre 210

legitime Bestäubung 95
 Leinkraut 71. 105
 Lerchensporn 91
 Leuchtmoss 233
 Leucobryum glaucum 215
 Lianen 256
 Lichtbedürfnis 224
 Lichtmenge 224
 Lilien 93
 Liliun album 93
 — bulbiferum 116
 Linaria 71. 105
 — cymbalaria 157
 Linde 302
 Lithospermum 97
 Llanos 309
 Löwenmaul 71
 Loniceria xylosteum 99
 Lorbeerweide 87
 Luftfeuchtigkeit 211
 Luftwurzeln 195
 Lupinen 152
 Lyngbya thermalis 238
 Lythrum salicaria 95
 Lungenkraut 94
 Luzula 92
 Lychnis diurna 92

M

Makrosporangien 36
 Malpighia urens 180
 Malven 96
 Mamillariaarten 117
 Mangrove 191. 223
 Maquisformation 295
 Matten 304
 Mauerpfeffer 204
 Mäusegerste 147
 Meeresströmungen 110
 Melampsorella Caryophyllacearum 336
 Melampyrum nemorosum 66
 Melianthus 63
 Menyanthes trifoliata 214
 Mercurialis annuus 288
 Mesembryanthemum 206
 Mesophyten 207
 Migrations-theorie 3. 14
 Mikrosporangien 37
 Mimosa pudica 244
 Mimulus luteus 131

Mistel 330
 — klebrige Samen 134
 — Verbreitung 140
 Mohrrübe 146
 Monotropa Hypopitys 68. 341
 Moore 313
 Moorpflanzen 314
 Mosaikkrankheit des Tabaks 18
 Moose 32
 Mooskapsel 33
 Moostorf 316
 Mougeotia 230
 Müllersche Körperchen 369
 Munroa squarrosa 308
 Mutationslehre 3. 12
 Mutterkorn 133
 Mykorrhiza 341
 Myrica gale 202
 Myrmecodia 371
 myrmekophile Pflanzen 367
 Myxomyceten 108

N

Nachbarbestäubung 106
 Nachtkerze 80. 100. 289
 Nachlichtnelke 70. 72
 Nachwirkung des Reizes 246
 Nährstoffe der Pflanzen 264
 Narbe 42. 47
 Narzissen 97
 natürliche Zuchtwahl 2. 8
 Nektarien 62
 — extrafloral 85. 369
 Nelkengewächse 97
 Neottia Nidus avis 340
 Nepenthes 352
 Nestwurz 340
 Nieswurz 92
 Nitratbildung 340
 Nostoc Gunnerae 324
 Nopalgewächse 203. 204
 normale Ernährung 321
 Nuphar luteum 130
 nyktitropische Bewegungen 243
 Nymphaea alba 131.

O

obligate Parasiten 326
 Oedogonium 161
 Oenothera 289
 — brevistylis 13

Oenothera Lamareckiana 13
 — muricata 121
 — rubrinervis 13
 Öle, Wirkung auf Transpiration 202
 Oogonium 28
 Optimum 236
 Orchideenbefruchtung 80
 Orchis 80
 Organisationsmerkmale 3. 6
 Orobanche 330
 Ortstein 271
 Osterluzei 91
 Oxalis 151. 246

P

Palmenhaine 302
 Pampas 308
 Pandorina 26
 Pappeln 57
 Pappus 125
 Parasiten 323
 Parietaria 93
 Parnassia palustris 214
 Parthenogenesis 23
 Paullinia 257
 Pechnelke 86
 Peplis Portula 104
 periodischer Laubfall 297
 Peripneumonieorganismen 18
 Perithezien 29
 Pfaffenhütchen 138
 Pflanzengifte 182
 Phaeophyceen 29
 Phallus impudicus 134
 Phanerogamen 38
 Phragmites communis 314
 physikalische Beschaffenheit des Bodens 273
 Pilostylis 334
 Pilzucht der Ameisen 372
 Pinguicula 350
 Pinus Cembra 141
 Pirola 241
 Pirola secunda 82
 — uniflora 102
 Plantago 92
 Plantago cretica 114
 Platzregen 131
 Platzwechsel 95

- Plectogyne 233
 Pollen 50
 Pollenblüten 60
 Pollenkörner 40
 Pollensäcke 40
 Pollinarium 81
 Polygonum amphibium 195. 209
 Polyporus vaporarius 168
 Populus tremula 57
 Potamogeton 92
 Prärien 307
 Primula 94
 Primula obconica 182
 — sinensis 182
 Probien 5
 Progressionsprinzip 3
 Pronuba yuccasella 83
 protandrisch 91
 proterogyn 91
 Prothallium 35
 Pulmonaria 94
 Pykniden 162
 Pyknosporen 162
 Pyramideneiche 277
- R**
- Rafflesiaceen 333
 rankende Pflanzen 306
 Rapskäfer 75
 Raumparasiten 323
 Reaktionsvermögen 11
 Regenwälder 216. 297
 Regenwürmer 270
 Renntierflechte 219
 Rhizophora 223
 Rhodophyceen 29
 Robinie 230. 243
 Rochea falcata 203
 Rohhumusbildung 269
 Rollblätter 201
 Rostpilze 162
 Rotbruch 314
 Roterle 314
 Rotkehlchen 138
 Rozites gongilophora 373
 Rubus squarrosus 206
 Rückschlag 7. 13
 Ruderalpflanzen 268
 Rührmichnichtan 92. 105. 150
 Rutenförmige Sprosse 206
 Rumex 131
- S**
- Saffhalter 63
 Salbei 79
 Salicornia 267
 Salix 57
 Salsola 267
 Salvinia natans 35. 192
 Salzpflanzen 266
 Salzsteppe 308
 Samen 42
 Samenanlage 38
 Samen von Nadelhölzern 122
 Saprolegnia 27
 Saprophyten 338
 Sargassummeere 111
 Sarothamnus scoparius 78
 Sauerampfer 131
 Sauerdorn 82
 Sauerklee 105. 151. 156. 245
 Savannen 309
 Savannenwald 309
 Schachblume 97
 Schachtelhalme 37. 120
 Schachtelhalmsporen 119
 Schaumkraut 151
 Schilf 314
 Schilfrohr 314
 Schistostega osmundacea 233
 Schlafbewegungen 243
 Schlangenfichten 279
 Schlehdorn 175
 Schleimpilze 108. 149
 Schlingpflanzen 254
 Schmetterlingsblütler 78
 Schnecken 85
 Schneckenklee 145
 Schneeglöckchen 63. 97
 Schotenweiderich 95
 Schuppenwurz 331
 Schutz des Pollens 51
 Schutz gegen Wasserabgabe 199
 Schutzdächer 203
 Schutzmittel der Blüten 85
 Schutzmittel der Pflanzen gegen Pilze 167
 — — — gegen Tierfraß 171
 Schwärmsporen 22
 Schwarze Erde 306
 Schwertlilien 80
 Scleranthus annuus 90
 Scrub 296
 Sechsellennuß 130
 Sedum 194
 Seide 332
 Selaginella 37
 Selaginella lepidophylla 106
 Selbstbestäubung 96
 Selbststerilität 91
 Selektion 1
 Sempervivum 203
 Senecio 234
 Seerose, gelbe 130
 — weiße 131
 Serpentin 268
 Silene nutans 70. 72
 Simsen 92
 Sinnpflanze 244
 Sklerotium 129
 Sockenblume 100
 Solanum tuberosum 44
 sommerdürre 199
 sommergrüne Wälder 298
 sommerkahle Wälder 298
 Sommerwurz 330
 Sonnenbrand 232
 Sonnentau 344
 Sorale 357
 Soredien 357
 Spaltöffnungsapparat 198
 Spatha 66
 Spermatozoid 28
 Spermatogonien 162
 Sphaceliageneration 133
 Sphaerotheca Castagnei 28
 Sphagnum 214
 Spitzenklette 145
 Splachnum 317
 Spongilla 366
 Sporen 34
 Spritzgurke 149
 Stacheln 173
 Stammsukkulente 203
 Stechginster 174
 Stechpalme 241
 Steinobst 136
 Steinsamen 97
 Steinzellen 332
 Stellaria holostea 66
 Stelzwurzeln 223
 Stentor polymorphus 364
 Stephanosphaera 26
 Steppe 305
 Steppenhexen 114. 306
 Sternmieren 66

Stinkmorchel 134
 Stoffe, bittere, giftige usw. 181
 Stoffwechselprodukte 161
 Storchschnabel 93
 — Ausschleudern des Samens 151
 Streubüchsen 82
 Sukkulente 203
 Sumpfpresse 191
 Sümpfe 317
 Sumpfpflanzen 210
 Sumpfstorchschnabel 151
 Süßwasserschwamm 366
 Symbiose 353

T

Taglilnelken 90
 Tannenhäher 141
 Tannenwald 294
 Taphrina betulina 336
 — Carpini 336
 — deformans 335
 — Pruni 336
 Taubnessel 79. 103
 Taxodium distichum 182
 Taxus 27
 Tayloria 341
 Teleutosporen 162
 Temperatur 236
 Temperaturmaximum 236
 Temperaturminimum 236
 thermophile Bakterien 238
 Terpentin 168
 Tetanustoxin 178
 Tetraphis pellocida 341
 Teufelszwirn 332
 Thalictrum minus 57
 Thamnium alopecurum 235
 Thesium 94. 325
 Thlaspi calaminaria 269
 Tillandsia usneoides 263
 Tococa formicaria 372
 Tollkirsche 96. 139
 Torfmoos 214. 315
 Torilis 147
 Tradescantia 60
 Transmutationslehre 2
 Trapa natans 193
 Trauerbuche 278
 Trüfelpitzen 222
 Treibfrüchte 130

Trentepohlia Jolidus 218
 trichogyn 29
 trimorph 94
 Triticum repens 116
 Trockenperioden 216
 Tundra 318
 Turgenia 147

U

Übertragung des Pollens 52
 Überwallung 170
 Ulex 174
 Ulmus 92
 Umbelliferen 75
 ungeschlechtliche Generation 33
 ungünstige Lebensbedingungen 159
 unvollkommene Dichogamie 92
 Uredosporen 162
 Uromyces Pisi 335
 Urtica 178
 Urzeugung 4
 Utricularia 193. 259. 359

V

Vacciniumarten 315
 Vallisneria spiralis 52
 Variieren 7
 vegetabilisches Roßhaar 263
 vegetative Vermehrung 19
 Veilchen 104
 Veilchenmoos 218
 Velamen 260
 Venusfliegenfalle 351
 Verbreitung durch Wasser-
 vögel 111
 — durch Flüsse 110
 — durch Wind 112. 117
 — durch Brutknospen 113
 — durch Ausläufer 113
 — von Nüssen 141
 — bei fleischigen Früchten 136
 — durch Wasser 129
 Vergilmeinnicht 94
 Verkeilung 203
 Vermischungstheorie 3
 Veronica 76
 — Chamaedrys 76
 Verschleppen der Samen durch
 Ameisen 158
 Vervollkommenungsprinzip 3

Verwitterung 264
 Vicia amphicarpa 156
 — angustifolia 156
 — sativa 156
 — sepium 86
 Victoria regia 192
 Vielzellbildung 37
 Viola calaminaria 269
 Virulenz 327
 Viscaria vulgaris 86
 Viscum album 330. 337
 Volvocaceae 26
 Volvox 109
 Vorkeim 31

W

Wachsüberzüge 87. 202
 Wachtelweizen 66. 325. 341
 Wald 292
 Walderdbeere 115
 Waldverwüstung 291
 Waldrebe 253
 Waldtorf 316
 Walnuß 92
 Wanderung der Chlorophyll-
 körner 230
 Wasserhahnenfuß 92. 194. 209
 Wasserkapazität 274
 Wasserlianen 258
 Wassernuß 193
 Wasserpflanzen 192
 Wasserpolypt 365
 Wasserschlach 193. 349
 Wasserspeicher der Epiphyten 260
 Wechselbefruchtung 106
 Wegerich 92
 Weide 57
 Weiden 304
 Weidenröschen 97. 234
 Weidfichten 177
 Weißtannenkrebs 337
 Wiesen 303
 Wiesenmoore 314
 Wigandia urens 181
 Wilder Wein 69
 Windblütler 54
 Windende Pflanzen 254
 windgepeitscht 185
 windgescheert 185
 Windwirkung 185

Wintergrün 82. 103. 241
 winterkahle Wälder 297
 Winterknospen 118
 Wirtswechsel 329
 Wistaria 258
 Wollgras 272. 314
 Wollspinnen 145
 Wundinfektionspilze 168
 Wundkorkbildung 169
 Wurmfarn 35

X

Xanthium 145
 Xenogamie 106
 Xerophyten 197
 Xyleborus dispar 374
 Xyloterus lineatus 374

Y

Yucca 83
 Yuccamotte 83

Z

Zaunwicke 86
 Zaunwinde 254
 Zaunrübe 135. 255
 Zimmerpflanzen 312
 Zweizahn 144
 Zwergheide 319
 Zwergpalme 296
 Zygnemaceae 25
 Zygospora 25

Lehrbuch der Zoologie

Für höhere Lehranstalten und die Hand des Lehrers
sowie für alle Freunde der Natur

Von Prof. Dr. O. SCHMEIL

47. Auflage. 636 Seiten mit 48 farbigen und 36 schwarzen Tafeln sowie etwa 700 Textbildern nach Originalzeichnungen. In Leinenband M 18.—

„Das ist ein Erfolg, zu welchem man dem Verfasser Glück wünschen kann. Er hat ihn aber auch durch unablässige Arbeit erworben. Hat er doch nicht nur für die verschiedenen Arten von Schulen Lehrbehelfe für den Unterricht verfaßt, sondern er hat dieselben auch fortwährend auf dem Stande erhalten, den die Wissenschaft jeweilig eingenommen hat . . . Einzelne Abschnitte erfuhren eine vollständige Erneuerung, und die mit dem Texte eng verwachsenen Abbildungen sind vielfach erneuert und ergänzt worden. Das ist besonders bei den zahlreichen farbigen Tafeln der Fall.“ Pädagogischer Jahresbericht

Lehrbuch der Botanik

Für höhere Lehranstalten und die Hand des Lehrers
sowie für alle Freunde der Natur

Von Prof. Dr. O. SCHMEIL

46. Auflage. 506 Seiten mit 34 farbigen und 46 schwarzen Tafeln, sowie mit etwa 600 Textbildern. In Leinenband M 14.—

„Die Schmeilschen Lehrbücher sind gute Bekannte, die bei jeder neuen Auflage in reichem Gewande auftreten; der Verfasser ist unermüdlich bestrebt, sein Werk auf der Höhe zu halten, die seit dem Erscheinen desselben ihm wegen seiner Originalität beschieden war. Mag man sich zu dieser wissenschaftlich oder pädagogisch stellen wie man will, es ist immer ein Genuß, in diesen Werke zu blättern und des Inhalts sich zu freuen.“ Naturwiss. Wochenschau

Flora von Deutschland

Ein Hilfsbuch zum Bestimmen der zwischen den deutschen
Meeren und den Alpen wildwachsenden und angebauten Pflanzen
Herausgegeben von Prof. Dr. O. SCHMEIL und Rektor J. FITSCHEN

Bearbeitet von J. FITSCHEN

35. Auflage. 445 Seiten mit 1000 Abbildungen. Gebunden M 4.40

„Die vorliegende Auflage zeichnet sich gegenüber den früheren durch eine erhebliche Vermehrung der Abbildungen aus. Ganz besonders lobend muß hervorgehoben werden, daß es den Verfassern gelungen ist, trotz der Fülle des zu bewältigenden Stoffes durch knappe, präzise Diagnosen dem Büchlein ein so handliches Format zu geben, daß man es bequem mit sich tragen kann. Man kann das Buch allen Botanikern warm empfehlen.“ Monatsschrift f. höh. Schulen

Vademecum für Pilzfreunde

Taschenbuch zur bequemen Bestimmung aller in Mitteleuropa
vorkommenden ansehnlicheren Pilzkörper mit 5 Bestimmungs-
tafeln und Zitaten bekannter Bildwerke.

Von Pfarrer A. RICKEN

2. vermehrte und verbesserte Auflage. 376 Seiten. Gebunden M 6.—

„Jeder Naturfreund und Pilzsammler hat schon den sehnlichen Wunsch nach einem Bestimmungsbuch gehabt, das ihm die Bekanntschaft mit der so erstaunlichen Vielgestaltigkeit unserer Pilzflora vermitteln könnte. Hier kommt das vorliegende Taschenbuch trefflich zu Hilfe.“ Zeitschrift für angewandte Chemie

Schmeils naturwissenschaftliche Atlanten

Gebunden je M 7.—

Pflanzen der Heimat

Von Prof. Dr. O. SCHMEIL und Rektor J. FITSCHEN

2. verb. Auflage. 80 farbige Tafeln mit erläuterndem Text

„Der Atlas soll dem Pflanzenfreunde ein einfaches Mittel bieten, sich auf seinen Spaziergängen mit den lieblichen Kindern Floras bekannt zu machen. Diese Tafeln gehören zu den besten Abbildungen, die mir bekannt sind. Die Reproduktion ist als erstklassig zu bezeichnen. Es sind wirklich lebende Pflanzen, die uns vor Augen geführt werden. Der Text ist sehr gut durchgearbeitet und gibt das Wissenswerteste in einfach sachlicher und leichtverständlicher Form. Das Werk wird auch eine höchst wertvolle Unterstützung bei jedem Botanikunterricht sein.“
Pharmazeutische Zeitung

Pilze der Heimat

Von E. GRAMBERG

I. Band: BLÄTTERPILZE. II. Band: LÖCHERPILZE

3. Auflage. 150 farbige und 36 Schwarzbilder mit erläuterndem Text

„Dieses Werk zeichnet sich vor allem aus durch die vortrefflichen Abbildungen, auf denen jede Pilzgruppe in ihrer natürlichen Umgebung dargestellt ist, wie sie zwischen Moos, Flechten, Farnen und anderen Begleitpflanzen, aus Nadeln, altem Laub und dergleichen dem Erdboden entsprossen, auf Baumstümpfen, an Baumstämmen wächst und von Schnecken oder Käfern besucht wird. Jede dieser Abbildungen ist ein kleines Kunstwerk, und wahrhaft herzerfreuend wirkt es, zu sehen, mit welcher Treue ein Kunstmaler die Natur wiedergibt. Der Text steht ebenfalls in allen Punkten auf der Höhe der Wissenschaft.“

Tägliche Rundschau

Unsere Süßwasserfische

Von Dr. E. WALTER

50 farbige Tafeln mit erläuterndem Text mit schwarzen Abbildungen

„Der Atlas enthält Abbildungen sämtlicher mitteleuropäischen Süßwasserfische. Dabei ist auf eine Darstellung der Fische in ihrer natürlichen Umgebung Bedacht genommen. Trockene und den Beschauer bald langweilende Abbildungen totter Fische im Profil wurden vermieden, vielmehr wurden überall die Bilder durch Wiedergabe naturgetreuer Stellungen belebt. Trefflich sind auch die den Tafeln beigegebenen Notizen.“

Deutsche Anglerzeitung

Reptilien und Amphibien Mitteleuropas

Von Dr. R. STERNFELD

30 farbige Tafeln mit 80 Seiten erläuterndem Text

„Jeder, der das Leben und Treiben unserer heimischen Kriechtiere und Lurche näher kennenlernen will, kann sich dieses Buch getrost in die Tasche stecken. Es wird ein Führer sein für den Wanderer, der in freier Natur Belehrung finden möchte . . . Auch wer die erlangte Beute daheim im Terrarium mit Muße betrachten will, hat an dem schönen Buche, für das H. Harder die Reptile in völliger Naturtreue gemalt hat, einen trefflichen Ratgeber.“

Vossische Zeitung





W.39-

