

VIII. Die allgemeinen Bedingungen des Pflanzenlebens.

1. Die Atmung.

In den vorhergehenden Abschnitten dieses Buches haben wir eine Fülle von Äußerungen des Pflanzenlebens geschildert und auch die nächsten Bedingungen kennen gelernt, welche diese Lebensäußerungen verlangen. Allein außer diesen Bedingungen gibt es noch einige andere Forderungen, welche immer erfüllt sein müssen, wenn das Leben nicht stillstehen, sondern eine fortlaufende Erscheinung sein soll. Eine dieser Bedingungen ist die Zuführung von Sauerstoff, welche durch einen Vorgang bedingt ist, den man auch bei den Pflanzen Atmung nennt, und die andere ist eine gewisse Temperaturhöhe über dem Nullpunkt des Thermometers, ohne die das Leben nicht beginnt, und jenseits deren es erlischt.

Die Stoffe, welche in den grünen Zellen aus anorganischer Nahrung erzeugt werden, würden für die Pflanze ein aufgehäuftes, brach liegendes, totes Kapital sein, wenn sie in dem Zustande verblieben, in welchem sie gebildet wurden. Sie müssen verwertet, in Fluß gebracht, verteilt, umgesetzt und umgeprägt werden, und die hierzu nötigen treibenden Kräfte werden dadurch gewonnen, daß sich in der Zelle ein Vorgang abspielt, der gerade das Gegenstück von jenem ist, welcher sich bei ihrer Bildung vollzog. Damals wurde Kohlensäure gespalten, Sauerstoff ausgeschieden, ein Kohlenhydrat gebildet und dabei Wärme gebunden, jetzt werden die Kohlenhydrate zersetzt, es wird Sauerstoff aufgenommen, Kohlensäure ausgeschieden und dabei Wärme frei. Dieser Vorgang ist die Atmung. Wenn in der grünen Zelle Kohlensäure zersetzt wird und Zucker oder ein anderes Kohlenhydrat entsteht, so wird hierbei der Sonnenstrahl eingefangen und gebunden. Er liefert die Energie für den chemischen Prozeß. Aber auch zu Zeiten, wo kein Sonnenstrahl die Pflanze trifft, und an Orten, wo das Licht nicht hingelangt — wir brauchen nur an die unterirdischen Teile einer Pflanze zu denken —, finden chemische und andere Lebensvorgänge statt, die Arbeitsleistungen sind, für die gleichfalls eine Betriebskraft verlangt wird. Diese Kraft muß die Pflanze aus ihrem eigenen Körper gewinnen, und sie benützt auf vielfachen Umwegen die Sonnenenergie, indem sie die bei der Synthese der Kohlenhydrate gewonnene Spannkraft durch Zerlegung dieser Stoffe wieder in lebendige Kraft umsetzt und mit dieser andere Lebensprozesse in Bewegung setzt. Es ist ähnlich wie bei einer Maschine. Wenn wir mit dieser Arbeit leisten wollen, müssen wir gleichfalls Stoffe opfern, die Energie liefern. Wir heizen daher die Maschine mit Kohle, die Wärme erhitzt das Wasser, und der Dampf liefert nun die Spannkraft für die Bewegung der Kolben, Hebel und Räder. Während aber der Brennstoff bei der Maschine nicht von dieser selbst stammt, verbrennt die Pflanze

etwas von ihrer eigenen Körpersubstanz. Sie ist gleichsam eine sich selbst regulierende Maschine. Freilich darf sich dieser Zersekungsprozeß nicht auf die ganze Masse der in den grünen Zellen erzeugten Stoffe ausdehnen. Es wäre ja ganz widersinnig, wenn in einem Teile der Pflanze dasjenige wieder zerstört und in Kohlenäure und Wasser verwandelt würde, was in dem anderen Teil aus diesen Verbindungen zusammengesetzt und aufgebaut wurde. Tatsächlich beschränkt sich auch dieser Zersekungsprozeß nur auf einen Teil der in den grünen Zellen erzeugten Stoffe, und man stellt sich den ganzen Vorgang am richtigsten so vor, daß ein Teil der in den grünen Zellen aus unorganischer Nahrung gebildeten Stoffe zum Weiterbau des Pflanzenkörpers verwendet wird, daß aber dieses Weiterbauen nur möglich ist, wenn ein anderer Teil die nötigen Kräfte zum Betriebe des Baues liefert. Der eine Vorgang ist daher gerade so wichtig wie der andere, sie ergänzen sich gegenseitig, und diese Ergänzung ist einer der wichtigsten Lebensprozesse der Pflanze.

Es wurde eben gesagt, daß zur Gewinnung der nötigen Betriebskräfte der Sauerstoff eingreift. Er veranlaßt eine Zersekung von Pflanzensubstanz, wobei Kohlendioxyd entbunden wird. Dieser Vorgang ist also eine Oxydation, eine Verbrennung organischer Stoffe und mit jener Verbrennung von Kohlenhydraten, die im tierischen Körper bei der Atmung stattfindet, in eine Linie zu stellen. Man bezeichnet denselben auch im Pflanzenkörper als Atmung, wenn sich hier die Atmungsorgane auch nicht so lokalisiert zeigen, wie das im tierischen Körper gewöhnlich der Fall ist. In der Pflanze können alle lebendigen Teile, zu denen die atmosphärische Luft, genauer: der in ihr enthaltene Sauerstoff gelangt, atmen: die Wurzeln und Knollen, die Stengel und das Laub, die Blüten, Früchte und Samen; es atmen grüne Gewächse und chlorophyllose Schmarotzer, Pflanzen mit und ohne Spaltöffnungen, Verwesungspflanzen und Wasserpflanzen. Alle Pflanzen atmen, solange sie leben, und man kann bei ihnen nicht weniger als bei den Tieren Atmen und Leben im Sprachgebrauch als gleichbedeutend in Anwendung bringen.

Die erste Grundbedingung für die Atmung ist natürlich das Vorhandensein von freiem atmosphärischen Sauerstoff. Wo dieser fehlt, muß die Pflanze gleich dem Tier ersticken und sterben. Wenn man eine Pflanze unter den Rezipienten einer Luftpumpe stellt und die Luft auspumpt, oder wenn man sie in einen Raum bringt, der mit Wasserstoff oder Stickstoff oder Leuchtgas gefüllt ist, so hört alsbald die Strömung des Protoplasmas in den Zellen auf, Laub- und Blumenblätter, wenn sie an der lebenden Pflanze Bewegungsercheinungen zeigen, werden starr, und bei längerem Verweilen in dem Lustraume, welchem der Sauerstoff fehlt, stirbt die Pflanze. Wenn man sie nachträglich auch wieder in sauerstoffreiche Luft bringt, so bleibt sie doch tot und läßt sich nicht mehr zum Leben erwecken.

Die von atmosphärischer Luft umspülten Teile der Gewächse leiden wohl nirgends Not an Sauerstoff; die Wurzeln kommen dagegen manchmal in diese Lage, wenn nämlich in der Bodenluft die Menge des Sauerstoffes recht gering ist, oder wenn atmosphärische Luft durch andere Gase ersetzt wird. Es erklärt sich hieraus, warum in der sogenannten toten Erde keine Pflanzen aufkommen, und daß die Wurzeln ganz vorzüglich jene lockeren Stellen der oberen Erdschichten, welche porös und gut durchlüftet sind, aufsuchen, der tieferen, schlecht durchlüfteten toten Erde dagegen ausweichen. Auch das Absterben von Bäumen, welche in Städten und Parkanlagen in der Nähe von Leuchtgasleitungen gepflanzt wurden, und deren Wurzeln infolge eines Bruches oder von Undichtigkeit der Gasleitungsröhren einige Zeit hindurch mit Leuchtgas umspült wurden, wird dadurch erklärlich.

Die Wasserpflanzen entnehmen den Sauerstoff der im Wasser absorbierten atmosphärischen Luft. Dort, wo diese fehlt, hat auch das Pflanzenleben unter Wasser ein Ende. Wer bei der Versendung von Wasserpflanzen das dazu benutzte, mit Wasser gefüllte Gefäß gut verkorkt, in der Meinung, die Wasserpflanzen seien ja doch in ihrem Elemente und würden so eine längere Reise gut vertragen, wird arg enttäuscht. Die geringe Menge des Sauerstoffes der in dem Wasser enthaltenen atmosphärischen Luft ist bald verbraucht, und die Wasserpflanzen ersticken dann in dem Wasser binnen 24 Stunden oder auch in noch viel kürzerer Zeit, gerade so wie Fische, welche man in einer verkorkten, mit Wasser gefüllten Flasche transportieren wollte. Aber auch dann, wenn das Wasser mit der Atmosphäre in Berührung bleibt und die normale Menge von atmosphärischer Luft enthält, wie in Seen, Teichen und anderen Wasseransammlungen, sind die darin untergetaucht lebenden Pflanzen in betreff der Atmung in einer ungünstigen Lage. Den von atmosphärischer Luft umspülten Pflanzen stehen in einem Liter (1000 ccm) Luft ungefähr 210 ccm Sauerstoff zur Verfügung, die untergetauchten Wasserpflanzen dagegen können der in einem Liter Wasser gelösten atmosphärischen Luft nur 6 ccm Sauerstoff entnehmen. Und selbst diese geringe Menge Sauerstoff wird nur dann gewonnen, wenn die atmende Pflanze mit dem Wasser und dadurch mit der in demselben gelösten atmosphärischen Luft recht viele Berührungspunkte hat. Daraus erklärt sich, daß die atmenden Organe der rings von Wasser umgebenen Pflanzen ähnlich wie die Kiemen der Fische mit einer möglichst großen Oberfläche an das luftthaltige Wasser grenzen. Am vollkommensten ist dies bei jenen Algen erreicht, deren Zellen zu zarten, langen Fäden oder zu dünnen Häutchen und Bändern vereinigt sind. Bei den Samenpflanzen wird daselbe durch Zerteilung der Blätter in unzählige haardünne Zipfel (z. B. bei *Myriophyllum* und *Ceratophyllum*) oder durch Ausbildung dünner bandförmiger Blätter (wie bei *Vallisneria* und *Zostera*) erzielt. Die Aufnahme des Sauerstoffes wird überdies bei allen Wasserpflanzen dadurch erleichtert, daß die Wände der an das Wasser grenzenden Zellen nicht kutikularisiert sind.

Noch ungünstiger sind die Verhältnisse für die Atmung der Sumpfpflanzen, zumal derjenigen, welche im Schlamm wurzeln und auch mit einem Teil ihrer Stengel und Blätter im Schlamm oder in schlammigem Wasser stehen. Der Schlamm und das schlammige Wasser enthalten keine oder doch nur sehr wenig atmosphärische Luft, dagegen reichlich gasförmige Zersetzungsprodukte abgestorbener Pflanzen und Tiere. Diese sind zum Atmen nicht geeignet und viel eher dazu angetan, den Erstickungstod der ihnen ausgesetzten Pflanzen herbeizuführen. Das Gewebe dieser Sumpfpflanzen ist daher regelmäßig von Gängen und Kammern durchzogen, welche atmosphärische Luft enthalten. Man kann solche Gewebe geradezu als Luftgewebe und Luftspeicher bezeichnen. So wie in dem Wassergewebe (vgl. S. 244 und 245) für die Zeiten des Wassermangels Wasser aufgespeichert wird, erscheint hier atmosphärische Luft aufgespeichert, mit welcher die im Schlamm und schlammigen Wasser stehenden Teile der Pflanzen, wenn es nottut, versorgt werden können. Gleich dem Wassergewebe ist auch das Luftgewebe ungemein mannigfaltig ausgebildet. In dem einen Falle durchspinn und durchsetzt es gleichmäßig alle Teile der Pflanze, in dem anderen ist es vorwiegend an bestimmte Glieder gebunden. Bei *Alisma*, *Sagittaria*, *Sparganium*, *Typha* sind es die ganzen Blätter, bei *Pontedera crassipes* und *Trapa natans* vorzüglich die mit blasenförmigen Aufreibungen versehenen Blattstiele, bei *Equisetum*, *Hippuris*, *Juncus* und *Scirpus* das Innere der Stengel, wo sich das Luftgewebe besonders reichlich entwickelt. Die linsenförmige

Lemna gibba ist auf der unteren Seite von einem luftführenden Gewebe wie gepolstert, und auch die untere Seite der Blätter von *Trianea bogotensis* zeigt eine ähnliche Ausbildung. Manche Sumpfpflanzen erzeugen an beschränkten Stellen weiße schwammige, unter dem Namen Aerenchym bekannt gewordene Gewebe, zwischen deren zarten, in radialer Richtung gestreckten, saftführenden Zellen auffallend große, miteinander in Verbindung stehende und mit Luft erfüllte Interzellularräume eingeschaltet sind. Bei *Lythrum*, *Epilobium* und mehreren anderen im Schlamme der Wassergräben wachsenden aufrechten Stauden findet sich dieses schwammige Gewebe an den untersten Teilen der krautartigen Stengel, an dem Sumpfstrauche *Neptunia oleracea* in Form von Wülsten an den wagerechten, flutenden, holzigen Stengelgliedern und wieder bei anderen Sumpfpflanzen an den Wurzeln. *Jussiaea repens* besitzt zweierlei Wurzeln, solche, die sich in den Schlamm einsenken und die Aufgabe haben, die nötigen Nährsalze zu gewinnen, und solche, welche zur Oberfläche des Wassers hin wachsen, und deren mittlerer Gefäßbündelstrang von weißem schwammigen Luftgewebe wie von einem Mantel umgeben ist. An einigen Mangrovebäumen (*Avicennia*, *Laguncularia*, *Sonneratia*) entspringen aus den im Schlamme steckenden Wurzeln Seitenwurzeln, welche gegen die Oberfläche des Wassers wachsen, sich darüber in die Luft erheben und an diesen Teilen mit Luftgewebe ausgerüstet sind. Die Luft gelangt in alle diese Luftgewebe aus der Atmosphäre, und zwar entweder durch Vermittelung der über das Wasser emporragenden oder auf dem Wasserpiegel schwimmenden Blätter oder durch die mit dem weißen schwammigen Aerenchym gepolsterten, zur Oberfläche des Wassers hinwachsenden Wurzeln. Aus den Luftspeichern kann dann auch den vom Schlamm umgebenen Teilen der Pflanze das zum Atmen nötige Maß von sauerstoffhaltiger atmosphärischer Luft zugeführt werden.

Es braucht wohl kaum besonders hervorgehoben zu werden, daß die Ausbildung dieser Luftgewebe für viele Sumpfpflanzen, wie namentlich *Trapa*, *Pontederia* usw., auch noch den Vorteil bietet, daß ihre Schwimmfähigkeit im Wasser des Sumpfes erhöht wird.

Die Untersuchungen über die Atmung haben ergeben, daß nicht alle Pflanzen mit gleicher Energie atmen, das heißt, daß unter gleichen äußeren Bedingungen und bei gleichen Größenverhältnissen der atmenden Teile die eine Art mehr, die andere weniger Sauerstoff verbraucht. Ebenso ist an jeder einzelnen Pflanze in betreff der Atmung ein großer Unterschied an den verschiedenen Teilen zu bemerken. Die chlorophyllosen Blumenblätter atmen viel kräftiger als die grünen Laubblätter, unterirdische, des Chlorophylls entbehrende Wurzelstöcke, Zwiebeln und Knollen bei weitem ausgiebiger als die grünen Stengel.

Ein großer Unterschied ergibt sich auch je nach den Entwicklungsstufen der einzelnen Pflanzenteile. Jugendliche Wurzeln, Stengel und Blätter atmen viel lebhafter als ausgewachsene. Wenn man Samen in feuchter Erde keimen läßt, so ist die Atmung anfänglich ganz unbedeutend, wenn aber die Teile des Keimlings sich zu strecken beginnen, wenn der ihnen von der Mutterpflanze mitgegebene Stoffvorrat in Fluß gebracht und verbraucht wird, ist auch die Atmung eine sehr energische; später, wenn dann der Keimling so weit herangewachsen ist, daß er mit Hilfe seiner inzwischen ergrünten Laubblätter arbeiten kann, nimmt die Atmung wieder ab. Bei der Entwicklung von Knospen verhält es sich ganz ähnlich; auch da wird von den sich aus den Knospenhüllen hervordrängenden jungen Blättchen weit mehr veratmet als von dem ausgewachsenen grünen Laube. Daß übrigens auch Teile, die ihre volle Größe erreicht haben und scheinbar ganz untätig sind, noch atmen, geht aus der Beobachtung hervor, daß Wurzeln und Knollen, die man im Herbst der Erde entnahm

und im Kellerraum über Winter liegen ließ, ohne äußerlich sichtbare Veränderung Kohlensäure aushauchen. An ausgegrabenen Zuckerrüben hat man innerhalb zweier Monate eine Abnahme des Zuckergehaltes um 1 Prozent und eine dieser Abnahme entsprechende Ausscheidung von Kohlensäure beobachtet, ein Beweis, daß auch in Gebilden, welche eine Winterruhe einhalten, eine Wandlung der Stoffe und eine Atmung stattfindet.

Nach dem, was oben über die Bedeutung der Atmung für das Leben der Pflanze gesagt wurde, ist es eigentlich ganz selbstverständlich, daß die Energie der Atmung, welche man aus der Menge der von einer bestimmten organischen Masse ausgehauchten Kohlensäure oder, noch besser, aus der Menge des aufgenommenen Sauerstoffes berechnet, desto größer ist, je stärker die Pflanze wächst, und je rascher sie ihren Körper weiterbaut, so wie ja auch eine Maschine desto mehr Heizmaterial bedarf, je größer ihre Leistungen sein sollen.

Eine annähernde Vorstellung von der Bedeutung der Atmung als treibender Kraft bei solchen Stoffwandlungen, deren Endziel der Weiterbau des Pflanzenkörpers ist, gewinnt man bei der Betrachtung folgender Zahlen. In einem Kubikzentimeter Kohlendioxyd sind 0,5376 mg Kohlenstoff enthalten, deren Verbrennungswärme 4677 Wärmeeinheiten ausmacht, von welchen das Arbeitsäquivalent 1987725 Grammillimeter gleich ist. Mit jedem bei der Veratmung von Kohlenhydraten ausgehauchten Kubikzentimeter Kohlendioxyd wird demnach ein Vorrat von Arbeitskraft gewonnen, der 1987725 Grammillimeter gleich ist, und es könnte durch diese Kraft ein Grammgewicht bis zur Höhe von 1987 m emporgeschleudert werden. Nun wurde aber ermittelt, daß Keimpflanzen des Mohnes, welche nachträglich getrocknet 0,45 g wogen, in 24 Stunden 55 cem, Keimlinge der Senfpflanze, die später getrocknet ein Gewicht von 0,55 g zeigten, in 24 Stunden 32 cem Kohlendioxyd bei der Atmung aushauchten, und es läßt sich nun leicht ermessen, welcher bedeutender Kraftvorrat durch die Atmung gewonnen wird, selbst dann, wenn infolge verschiedener Störungen und Hemmnisse der Effekt in der lebenden Pflanze weit hinter dieser Berechnung zurückbleiben sollte.

Wenn hier die lebendige Pflanze wie eine mit Kohle geheizte Maschine besprochen wird und ihre Arbeitsleistungen sogar in Zahlen angegeben werden, so liegt hierzu die Berechtigung in der Analogie der Vorgänge, die sofort in die Augen springt. Der Vergleich drängt sich jedem unwillkürlich auf, der da sieht, daß in beiden Fällen dieselben Triebkräfte ins Spiel kommen, und daß hier wie dort durch eine Verbrennung des Kohlenstoffes der nötige Vorrat an lebendiger Kraft gewonnen wird. Andererseits aber sind die Verbrennung in einer Maschine und die Atmung in einer lebendigen Pflanze doch wieder weit voneinander verschieden. Das Eigentümliche bei der Atmung der Pflanzen liegt darin, daß Stoffe mit dem Sauerstoff der atmosphärischen Luft verbunden werden, welche außerhalb des lebendigen Pflanzenkörpers mit diesem Elemente bei gewöhnlicher Temperatur keine Verbindungen eingehen. Weder die Kohlenhydrate, noch die Fette, noch die Eiweißstoffe, welche bei der Atmung in den Verbrennungsprozeß mittelbar oder unmittelbar einbezogen werden, unterliegen außerhalb der Pflanzenzelle den im Zellenleibe sich abspielenden Veränderungen und Zersetzung, und es kann als sichergestellt gelten, daß der Sauerstoff auf dieselben nur dann einwirkt, wenn er durch Vermittelung der lebenden Protoplasten auf sie übertragen wird.

Neuere Untersuchungen haben denn auch dahin geführt, sich etwas andere theoretische Vorstellungen von der Atmung zu machen, und sie nicht einer Oxydation, wie sie der Chemiker kennt und hervorruft, völlig gleichzuachten. Vielmehr muß man auf Grund experimenteller

Untersuchungen annehmen, daß sowohl der Kohlenstoff als der Sauerstoff der bei der Atmung gebildeten Kohlenäure von Zellbestandteilen abstammt. Die Atmung ist also zunächst ein innerer in den Zellen verlaufender Vorgang, den man auch intramolekulare Atmung genannt hat. Infolge der intramolekularen Atmung entstehen aber sauerstoffärmere Restprodukte, deren Affinitäten wieder nach Sättigung streben, und ihre Regeneration wird durch den Luftsaurestoff besorgt. Es hat also nur den Anschein, als ob der Sauerstoff der Luft die Kohlenstoffmoleküle aus den Zellbestandteilen abrisse, um Kohlenäure zu bilden. Vielmehr erscheint die Kohlenäurebildung als ein Spaltungsprozeß im lebenden Protoplasma, den ein fortwährender Sauerstoffzutritt wieder ausgleichen muß. Hört der letztere auf, so hört nach kurzer Zeit auch die innere Atmung auf, und die Pflanze stirbt. Läßt man in getötete Pflanzen Sauerstoff eindringen, so werden sie so wenig zum Atmen gebracht wie Schmetterlinge, welche infolge von Sauerstoffentziehung erstickt sind, und die man nachträglich wieder an die frische Luft bringt. Der Sauerstoff kann weder in vollständig erstickten Pflanzen noch in vollständig erstickten Tieren jene Bewegungen der Atome veranlassen, welche dem Leben eigentümlich sind.

Interessant ist es, daß wir bei Tieren so ähnliche Verhältnisse finden, daß die pflanzliche und tierische Atmung dadurch noch eine größere Übereinstimmung erhalten. Wenn man Tiere, die ein zähes Leben haben, z. B. Frösche, in sauerstofffreie Luft bringt, so gehen sie nicht sogleich zugrunde und hören auch nicht sofort auf, Kohlendioxyd auszuatmen; sie bringen noch eine Zeitlang eine gewisse Menge lebendiger Kraft durch Verbrennung von Kohlenstoffverbindungen in ihrem Körper auf. Da die umgebende Luft sauerstofffrei ist, so können sie dieser auch keinen Sauerstoff entnehmen; es bleibt daher nichts anderes übrig, als daß sie ihn aus organischen Verbindungen ihres eigenen Leibes gewinnen. Für die Dauer ist das freilich nicht durchführbar, und längeres Verweilen der Frösche in sauerstofffreier Luft hat zur Folge, daß sie schließlich absterben. Aber auf kurze Zeit vermögen sie auf die angegebene Weise ihr Leben immerhin zu fristen. Das ist also ganz dieselbe intramolekulare Atmung, wie sie bei den Pflanzen beobachtet wird.

Sonnenlicht ist für die Atmung nicht notwendig. Die Atmung kann im völligen Dunkel vor sich gehen. Unterirdische Teile: Wurzeln, Knollen, Zwiebeln, Rhizome, Ausläufer, desgleichen die Myzelien und Sporenträger der unter dem Namen Pilze zusammengefaßten Pflanzen, ebenso die in die Erde gesenkten Samen, atmen in der Dunkelheit. Die Atmung erfolgt selbst in finsterner Nacht.

Da die Atmung eine Verbrennung von Kohlenstoffverbindungen ist und jede solche Verbrennung durch Erhöhung der Temperatur gefördert wird, ist zu erwarten, daß die Atmung in der Pflanze um so ausgiebiger sein wird, je höher die Temperatur der zu veratmenden Stoffe und die Temperatur ihrer Umgebung ist. Und so verhält es sich in der Tat. Es wurde beobachtet, daß sich die Kohlenäureausscheidung und insofern die Atmung mit zunehmender Temperatur steigert, und zwar bis zur Grenze des Lebens. Sie kann schon unter 0° beginnen, erreicht aber keinen eigentlichen Höhepunkt, welcher bei anderen Lebenserscheinungen, z. B. der Assimilation, zwischen 35 und 37° liegt. Unter dem Einfluß von Temperaturen, welche ein Gerinnen der Eiweißstoffe veranlassen und eine Tötung des lebendigen Protoplasmas zur Folge haben, hat auch die Atmung ihr Ende erreicht.

2. Wärme- und Lichtentwicklung.

Wie bei jeder Verbindung des Sauerstoffes mit anderen Stoffen, insbesondere bei jeder Verbrennung von Kohlenstoffverbindungen, wird auch bei der Atmung Wärme frei. Nicht immer ist diese Wärme in dem Pflanzenteil, in dem sie entbunden wird, leicht nachzuweisen. Durch Verdunstung des Wassers und durch Ausstrahlung wird in den oberirdischen Organen, zumal in flächenförmig ausgebreiteten Laubblättern, der Erwärmung des atmenden Pflanzengewebes entgegengewirkt. Auch wird unter dem Einfluß des Sonnenlichtes im Laufe des Tages gerade in dem grünen Laube Kohlenensäure reduziert, ein Vorgang, welcher mit Bindung von Wärme Hand in Hand geht. Da nun dieser Vorgang den Erfolg der Atmung in den grünen Blättern gewissermaßen verdeckt, so ist es begreiflich, daß in den Laubblättern die durch die Atmung frei werdende Wärme nur selten wahrnehmbar ist, daß vielmehr grüne Laubblätter sich in der Regel kühl anfühlen. Ja, es ist sogar wahrscheinlich, daß die angenehme Kühle unter einem schattenden Laubdache nicht nur durch die Abhaltung der Sonnenstrahlen veranlaßt wird, sondern daß auch das Einfangen dieser Sonnenstrahlen, die Bindung der Wärme, bei der Erzeugung der ersten Kohlenhydrate in den grünen Blättern an der Abkühlung der diese Blätter umspülenden Luft beteiligt ist. Wo aber diese Umstände nicht in Betracht kommen, ist die entbundene Wärme der atmenden Pflanzenteile gerade so wie im tierischen Körper nachweisbar, und wenn atmende grüne Blätter weder verdunsten noch Wärme gegen den Himmelsraum ausstrahlen können, wenn überdies ein Vorrat von Kohlenhydraten in ihnen aufgespeichert ist, wird die bei dem Atmen frei werdende Wärme auch in der nächsten Umgebung sich fühlbar machen. Noch mehr gilt dies von unterirdischen Zwiebeln und Knollen, bei denen Verdunstung und Ausstrahlung unterbleiben oder doch sehr beschränkt sind.

Ähnlich wie diese atmenden unterirdischen Organe verhalten sich auch keimende Samen und des Chlorophylls entbehrende Keimlinge, vorausgesetzt, daß sie gegen Verdunstung und Ausstrahlung geschützt sind. Wenn lebhaft atmende, in Keimung begriffene Gerstenkörner dicht gehäuft beisammenliegen und dadurch die entbundene Wärme mehr zusammengehalten wird, erhöhen sie die Temperatur ihrer Umgebung recht auffallend. Malz ist gekeimte Gerste, und bei der Bereitung von Malz werden aufgehäuften Gerstenkörner zum Keimen gebracht. Hierbei wird nun die Temperatur der unmittelbaren Umgebung um 5—10° über die Temperatur der atmosphärischen Luft, welche die zusammengehäuften Gerstenkörner von außen umspült, erhöht.

Sehr lehrreich ist auch die Entbindung von Wärme bei den Pilzen. Diese entnehmen die organischen Verbindungen, aus denen sie ihr Myzelium und ihre Sporenträger aufbauen, aus anderen lebenden Organismen oder aus den verwesenden Resten abgestorbener Pflanzen und Tiere. Ihre Sporenträger, welche gemeinhin als Schwämme angesprochen werden, entwickeln sich oft ungemein rasch zu bedeutender Größe, und mit dieser raschen Entwicklung ist immer auch eine Bewegung der vom Myzelium aufgenommenen Nahrung in der Richtung gegen den Sporenträger und eine energische Atmung verbunden. Die Atmung findet vorzüglich an der Peripherie des Sporenträgers, bei den Hutpilzen besonders in dem gegen Verdunstung und Ausstrahlung am besten geschützten Sporenlager statt. Die in der freien Natur im Waldgrund an den nur wenig über den Boden sich erhebenden Hutpilzen ausgeführten



Soldanellen im Schnee. Nach Aquarell von Ernst Heyn.

... das Resultat geliefert, daß die Temperatur-
 ... am bedeutendsten dort ist, wo auch die Atmung am
 Geringer ist sie im Markkörper des Hutes
 und am Auch der ... wässrige Flüssigkeit mit einer Temperatur
 bewegt, Temperatur im umgebenen Bodens nur wenig abweicht, und so die
 Atmung An dem Steinpilz (*Boletus edulis*),
 welcher sich wegen ganz besonders gut zu solchen Untersuchungen
 eignet, wurde Temperatur der umgebenden Erde vor 13° ermittelt. Tem-
 peratur im ... 15,2—16,8°. Temperatur des Markkörpers im Hute 15,2—16,8°, der
 ... 16,2—17,2°. ... (aber noch durchaus frischen) Stein-
 höhere Temperatur als die jungen, eben erst aus dem Boden emporgetauchten.
 Im Mittel war der wasserreiche Stiel um 2, die Markschicht des Hutes um 3 und die Hyme-
 nialschicht um 4,5° wärmer als die Umgebung. Die Beobachtungen an anderen Hutpilzen
 lieferten ähnliche Resultate. Der ... (*Lactarius scrobiculatus*) zeigt bei einer
 Temperatur des umgebenden Bodens ... eine Temperatur des Stieles von 14,8 und
 des Hutes



[... in ...]



Soldanellen im Schnee. Nach Aquarell von Ernst Heyn.

[Zur Tafel: »Soldanellen im Schnee.«.]



Soldanellen im Schnee. Nach Aquatell von Ernst Heyn.

1. *Soldanella pusilla* und *alpina*. — 2. *Ranunculus alpestris*. — 3. *Polygonum viviparum*.

zahlreichen Messungen haben nun übereinstimmend das Resultat geliefert, daß die Temperaturerhöhung im Gewebe des Sporenträgers am bedeutendsten dort ist, wo auch die Atmung am lebhaftesten stattfindet, das ist im Sporenlager. Geringer ist sie im Markkörper des Hutes und am geringsten im Stiel, durch den sich die wässerige Flüssigkeit mit einer Temperatur bewegt, welche von der Temperatur des umgebenden Bodens nur wenig abweicht, und wo die Atmung jedenfalls nur ganz unbedeutend sein kann. An dem Steinpilz (*Boletus edulis*), welcher sich seiner Größe und Form wegen ganz besonders gut zu solchen Untersuchungen eignet, wurden z. B. bei einer Temperatur der umgebenden Erde von 13° ermittelt: Temperatur des Stieles $14,2$ — $15,6^{\circ}$, Temperatur des Markkörpers im Hute $15,2$ — $16,8^{\circ}$, der Hymenialschicht $16,7$ — $18,1^{\circ}$. Die mehr ausgewachsenen (aber noch durchaus frischen) Steinpilze zeigten höhere Temperatur als die jungen, eben erst aus dem Boden emporgetauchten. Im Mittel war der wasserreiche Stiel um 2, die Markschicht des Hutes um 3 und die Hymenialschicht um $4,5^{\circ}$ wärmer als die Umgebung. Die Beobachtungen an anderen Hutpilzen lieferten ähnliche Resultate. Der Erdschieber (*Lactarius scrobiculatus*) zeigte bei einer Temperatur des umgebenden Bodens von $12,2^{\circ}$ eine Temperatur des Stieles von $14,8$ und des Hutes von $16,0^{\circ}$; der Fliegenschwamm (*Amanita muscaria*) bei einer Temperatur des umgebenden Bodens von $13,0^{\circ}$ im Stiele $14,2^{\circ}$, im Hute $15,2^{\circ}$; der Habichtschwamm (*Hydnum imbricatum*) bei einer Temperatur des umgebenden Bodens von $12,2^{\circ}$ im Stiele $13,0$ und im Hute $14,5^{\circ}$. Die eigentümliche Form des Hutes läßt bei diesen zuletzt genannten Hymenomyceten eine gesonderte Messung der Temperatur in der Mark- und in der Hymenialschicht nicht gut zu, doch ist es wahrscheinlich, daß auch hier ein kleiner Unterschied besteht, ähnlich demjenigen, wie er beim Steinpilz gefunden wurde. Auch die zu den Bauchpilzen gehörenden Boviste zeigen eine nicht unbedeutende Erhöhung der Temperatur des atmenden Teiles ihrer Sporenträger über die Temperatur ihrer Umgebung. So wurde an *Lycoperdon caelatum* in dem Sporenlager kurz vor dem Öffnen des kugelförmigen Sporenträgers eine Temperatur von $15,8^{\circ}$ beobachtet, während der umgebende Boden nur $12,2^{\circ}$ zeigte (die Temperatur der Luft betrug in den aufgezählten Fällen 10 — 13°).

Besonders auffallend tritt das Freiwerden der Wärme auch an atmenden Blütenknospen und den sie tragenden, rasch wachsenden Stielen sowie auch an geöffneten Blumen hervor. Sind die Blüten klein, und sind deren nur wenige am Ende des Stengels, oder wird nur eine einzige kleine Blüte von einem zarten Stiele getragen, so entgeht die entbundene Wärme freilich leicht der Beobachtung; aber unter besonders günstigen Verhältnissen macht sie sich doch geltend und bewirkt dann eine Erscheinung, so seltsam und rätselhaft, daß jeder, der sie zum erstenmal beobachtet, im höchsten Grad überrascht und verblüfft wird. Es ist hiermit die Erscheinung gemeint, daß am Rande der Schnee- und Firnfelder in den Hochgebirgen zarte, zierliche, kleine Blumen in den festen Firn hineinwachsen und sich den Raum, dessen sie bedürfen, durch Schmelzen des Firnes schaffen. Unser ausgezeichneteter Künstler Ernst Heyn hat auf der Höhe des Blaser, eines Berges in den tirolischen Zentralalpen, das eigentümliche Bild in vollendeter Naturwahrheit auf dem Papiere festzuhalten verstanden, und die Schilderung mit Worten mag daher auch an die farbige Darstellung auf der beigehefteten Tafel „Solbanellen im Schnee“ anknüpfen. In einer Mulde, nahe der 2240 m hohen Kuppe des Berggipfels, hat sich der atmosphärische Niederschlag vom Winter her bis in die ersten Tage des August erhalten. Es ist aber nicht mehr der flockige, weiche Schnee, wie er vor Monaten die ganze Mulde in einer Mächtigkeit von 2 — 3 m erfüllte, sondern eine in den unteren

Schichten feste und durchscheinende und nur obenauf weiche, körnige Masse, die aus dem Winterschnee hervorgegangen. Es ist Firn, genau so wie an der Oberfläche der Gletscher am Feuerstein und der Schneespitze, welche im Hintergrunde des Bildes aufragen; ja, in den untersten, dem Boden unmittelbar aufliegenden Schichten hat sich Eis gebildet, und in Wahrheit liegt ein kleiner Gletscher in der Mulde, der sich von den Gletscherfeldern des Hintergrundes nur dadurch unterscheidet, daß wegen geringerer Mächtigkeit die durch Druck bedingten Phänomene in seiner Tiefe nicht zur Entwicklung kommen, und daß er bis zur Mitte des Augustmonates gänzlich abgeschmolzen ist, so daß dann auf dem Boden der Mulde noch ein grüner, mit bunten Blumen durchwirkter Teppich aus niederen Ranunkeln, Gentianen, Nelken, Steinbrechen, Seggen, Gräsern und liegenden Weiden entstehen kann. Das durch die feinen Kanäle der eisigen unteren Schicht durchsickernde Schmelzwasser gelangt auf den Boden der Mulde, in der das Firnfeld eingebettet ist; dort durchseucht es die Erde und benetzt auch die in dieser Erde wurzelnden Pflanzen. Die untere, zu Eis gewordene Schicht des Firnfeldes liegt zwar dem Boden dicht auf, erscheint aber nirgends an denselben angefroren. Das über den eisbedeckten Boden abfließende Schmelzwasser zeigt die Temperatur von 0°. Obenauf in der durchweichten, verschiebbaren Schicht des kleinen Firnfeldes findet man häufig Bienen, Hummeln und Falter, welche hier ihren Tod gefunden haben, ebenso finden sich durch die Stürme herbeigewehte abgestorbene Blättchen von Alpenpflanzen und der auf S. 31 erwähnte atmosphärische Staub (Kryokonit), welcher sich in Form dunkler Bänder und Flecke vorzüglich am Rande des Firnfeldes hinzieht. Auch an lebendigen Wesen fehlt es nicht. Ab und zu stellen sich die Zellen der *Sphaerella nivalis* ein, welche einzelne Stellen schmutzigrot färben, und die kleinen, schwarzen, unter dem Namen Gletscherflöhe bekannten Poduren treiben sich an den vom atmosphärischen Staube beschmutzten Stellen herum.

Aber auch unter dem Firnfeld wird es lebendig. Aus dem vom Schmelzwasser überrieselten Erdreich erheben sich die Blütenknospen der zierlichen Soldanellen, zumal der in solchen Schneemulden zu Tausenden wachsenden *Soldanella pusilla*, welche schon im verfloffenen Jahre vorbereitet wurden, deren Stengelchen aber damals nur einige Millimeter Länge erreichten. Diese Stengelchen wachsen nun tatsächlich bei einer Temperatur der Umgebung von 0° bogenförmig in die Höhe, die von ihnen getragenen Blütenknospen werden dadurch gehoben und kommen mit der unteren, dem Boden zugewandten Seite des Firnfeldes in Berührung. Die Blütenknospen vergrößern sich ziemlich rasch und beginnen sich violett zu färben. Dieses Wachstum erfolgt auf Kosten des Vorrates an Stoffen, welchen die Soldanellen im vorhergehenden Sommer gewonnen und zum Teil in den immergrünen, lederigen, platt dem Boden aufliegenden Laubblättern, zum Teil in den kurzen, in der Erde eingebetteten Wurzelstöcken aufgespeichert hatten. Es sollen diese Stoffe als Baustoffe verwendet werden, und um das möglich zu machen, sie in Fluß zu bringen, an die Stellen des Verbrauches hinzuführen und hierzu die nötigen Triebkräfte zu gewinnen, wird ein Teil derselben veratmet. Die bei dieser Atmung frei werdende Wärme schmelzt in der unmittelbaren Umgebung der sich vergrößernden Blütenknospen das körnige Eis des Firnfeldes, welches die wachsenden Soldanellen überdeckt. Das hat zur Folge, daß sich über jeder Soldanellenknospe eine Aushöhlung im Eise bildet, oder besser gesagt, daß jede Soldanellenknospe wie von einer kleinen Eiskuppel überwölbt wird. Noch immer wächst aber der Stengel in die Länge; die von ihm getragene atmende und Wärme entbindende Blütenknospe wird daher in den kuppelförmig ausgehöhlten Raum emporgehoben und hineingeschoben. Sie veranlaßt dort neuerdings eine Schmelzung des Eises

und eine Verlängerung des Hohlraumes und bahnt sich somit selbst einen Weg durch die Eisschicht nach oben. Das geht so fort und fort, und endlich hat sich die atmende und Wärme entwickelnde Soldanellenknospe einen förmlichen Kanal durch die Firndecke ausgeschmolzen, kommt über dieser zum Vorschein, und der Stengel erscheint durch die Firnlage wie durchgesteckt. Die Blütenknospe öffnet sich jetzt, und man sieht das zierliche violette Glöckchen über dem Firnfeld im Winde schwanke. Begreiflicherweise wird das Firnfeld dort am ehesten durchlöchert werden, wo es am dünnsten ist, und das ist in der Nähe des Randes der Fall, wo auch das Abschmelzen von obenher am raschesten vor sich geht. Man sieht daher vorzüglich den Saum des Firnfeldes durchlöchert und dort durch die Löcher die Soldanellen herausgewachsen. Stellen, wo 10—12 Blüten auf einer kaum meterlangen Strecke des Randes emporkommen, sind durchaus keine Seltenheit. Wer näher zusieht und durch den Firn Durchschnitte mit Beil und Spaten macht, kann sämtliche geschilderte Entwicklungsstufen nebeneinander sehen. Aber auch noch zwei andere Erscheinungen werden ihm nicht wenig auffallen. Er wird nämlich hier und da einzelne Soldanellen finden, deren Knospen sich bereits geöffnet haben, bevor sie über die Firndecke emporgehoben wurden. Solche Soldanellen blühen dann tatsächlich in einer kleinen Aushöhlung des Firnes; ihr Blühen beschränkt sich auch merkwürdigerweise nicht nur auf das Öffnen der Blumenkrone; es findet sogar ein Öffnen der Antheren statt, und nimmt man derlei Soldanellenblüten aus ihrem kleinen Eishause heraus und stößt an die kegelförmig zusammenschließenden Antheren, so kann man deutlich ein Herausfallen des Blütenstaubes beobachten.

Noch ist zu erwähnen, daß die grünen Blätter der Soldanellen, welche unter dem Schnee und Firne platt dem Boden aufliegen, im Verlaufe des Wachstums der Blüten ihre Prallheit einbüßen, und daß die in ihnen aufgespeicherten Reservestoffe vollständig von dem auswachsenden Stengel und der auswachsenden Blüte verbraucht werden. Die grünen Blätter werden dann runzelig und gehen zugrunde, während sich nach dem Abschmelzen des Firnes neue Laubblätter entwickeln, die sich mit Reservenernährung versorgen, damit in der nächsten Vegetationsperiode die auswachsenden Stengel und Blüten genügend ernährt werden können.

Neben den Blüten der Soldanellen findet man ab und zu auch jugendliche, noch gelbrote Laubblätter des *Polygonum viviparum*, welche von untenher in den Firn hineinwachsen und mitunter dicht am Rande des Firnfeldes Löcher in denselben schmelzen, wie das auch auf der Tafel bei S. 433 dargestellt ist. Die weißen Blüten des mit den Soldanellen an gleichem Standorte gesellig wachsenden *Ranunculus alpestris* haben dagegen die Fähigkeit, den Firn zu durchwachsen, nicht erlangt und bedürfen als Anregung zum Wachstum eine Temperatur, welche schon etwas höher als 0° ist, demzufolge sie ihre Blüten immer erst an den vom Firnschnee kurz vorher verlassenen Plätzen entfalten.

Wie groß die von den kleinen Blütenknospen der Soldanellen entbundene Wärme ist, würde sich zwar aus der Menge des geschmolzenen Eises berechnen lassen, aber es kämen bei einer derartigen Berechnung so viel Fehlerquellen ins Spiel, daß die gewonnenen Zahlen doch nicht den Anspruch auf Genauigkeit machen könnten. Es genügt die beobachtete Tatsache, wenn sie auch nicht durch kalorimetrische Ziffern belegt ist.

Das Schmelzen des Eises durch die beim Atmen der Soldanellen frei werdende Wärme ist übrigens auch insofern von größtem Interesse, weil dadurch der Beweis geliefert wird, daß selbst kleine, vereinzelt stehende, ungemein zarte Blüten nicht nur ihr eigenes Gewebe, sondern auch die Umgebung erwärmen, und daß die freiverdende Wärme in ihnen nur darum nicht

wahrnehmbar wird, weil, wie schon oben bemerkt, Verdunstung und Ausstrahlung im entgegengesetzten Sinne wirken, und weil die atmenden Blüten für gewöhnlich von atmosphärischer Luft umspült, also von einem Medium umgeben sind, das beweglicher nicht gedacht werden könnte. Die Luft, welche in der einen Sekunde von der atmenden Blüte erwärmt wird, ist in der nächsten Sekunde schon weithin entführt und durch andere Luft ersetzt. Das gilt besonders von Blüten mit flachschüsselförmigen, nach oben zu weit offenen Kronen, in deren Bereiche von einem Stagnieren der Luft keine Rede sein kann. Wenn dagegen die Blüte die Form einer Sturzglocke hat, wie bei dem Fingerhute, den Gloxinien und den meisten Glockenblumen, wenn sich eines der Blätter als Helm emporwölbt, wie bei dem Eisenhute, wenn die Blüten röhrig, an der Basis tonnenförmig aufgetrieben oder krugförmig erweitert sind, wie bei den Aristolochien, oder wenn sie tiefe Trichter und Becher bilden, wie bei vielen Kakteen und Kürbisgewächsen, so wird die Luft in dem versteckten Raume kaum bewegt, es herrscht im Blütengrunde Windstille, die dort angesammelte und erwärmte Luft wird sich in dem windstillen Winkel ziemlich unverändert erhalten und nicht so leicht durch andere ersetzt werden.

An kühlen Tagen kann man daher im Inneren solcher Blüten, selbst dann, wenn sie ganz vereinzelt stehen, eine Erhöhung der Temperatur über die Temperatur der umgebenden Luft deutlich durch das Thermometer wahrnehmen. Auf einer Alpenwiese zeigte bei einer Lufttemperatur von $8,4^{\circ}$ am Morgen kurz nach Sonnenaufgang das Innere einer Blüte von *Gentiana acaulis* die Temperatur von $10,6^{\circ}$. Bei trübem Himmel und ruhiger Luft zeigte auf einer Bergwiese das Innere einer Blume von *Campanula barbata* $16,6^{\circ}$ und nicht weit davon entfernt an einem Waldrande das Innere des helmförmigen Blumenblattes von *Aconitum paniculatum* $14,6^{\circ}$, während die Lufttemperatur außen in beiden Fällen nur $13,2^{\circ}$ betrug. Bei weitem ausgiebiger erhöht sich die Temperatur der Luft im Bereich einer atmenden Pflanze, wenn zahlreiche kleine, dicht zusammengedrängte Blüten von einer gemeinsamen Hülle umgeben sind, und wenn diese Hülle derartig gestaltet ist, daß in dem von ihr umschlossenen Raume Windstille herrscht. Auf derselben Bergwiese, auf welcher die Temperatur der obenerwähnten Glockenblume (*Campanula barbata*) geprüft wurde, stand auch die Wetterdistel (*Carlina acaulis*) in voller Blüte. Da der Himmel trübe war, erschien auch das Distelköpfehen geschlossen, d. h. die starren Hüllblätter waren mit ihren Spitzen zusammengeneigt und bildeten einen die Blüten überdeckenden Hohlkegel. Das Thermometer zwischen diesen Hüllblättern, abwärts bis zu den Blüten eingeführt, zeigte eine Temperatur von $20,4^{\circ}$, die umgebende Luft $13,2^{\circ}$. Es ergab sich demnach hier ein Unterschied von mehr als 7° .

An jenen Palmen, deren zahlreiche kleine, gehäufte Blüten von großen Blütencheiden eingehüllt sind, zeigt die Luft innerhalb dieser Hüllen eine Erhöhung der Temperatur, die so auffallend ist, daß man sie durch das Einführen der bloßen Hand wahrnehmen kann. Dasselbe gilt von vielen tropischen Aroideen. Auch hier sind zahlreiche kleine Blüten zu einer Ähre mit dicker, fleischiger Spindel, einem sogenannten Kolben, vereinigt, und jeder Kolben ist von einem Hüllblatt umgeben, das anfänglich wie eine Tüte zusammengewickelt, häufig auch tonnenförmig aufgetrieben oder blasenförmig ausgeweitet, kurz in den seltsamsten Gestalten ausgebildet ist, immer aber einen Hohlraum umschließt, dessen Luft von einem äußeren Luftzuge kaum berührt wird. In diesen Hohlraum kann ein Thermometer mit entsprechender Vorsicht eingeführt, und es kann die von ihm angegebene Temperatur mit jener der Umgebung verglichen werden. Man fand nun bei einer gleichzeitigen äußeren Lufttemperatur von 25° die Temperatur im Inneren der Blütenhülle bei der brasilianischen *Tornelia fragrans* nahezu

38°. Bei derselben Lufttemperatur beobachtete man innerhalb der Hülle des *Arum cordifolium* auf der Insel Réunion eine Temperatur von 35—39°. Die höchste Temperatur aber wurde an dem italienischen Aron (*Arum italicum*) bemerkt. Diese Pflanze ist im Gebiete der mittelländischen Flora ungemein verbreitet und unter Gebüsch am Rande der Weinberge, ja selbst an Zäunen und Straßenrändern häufig anzutreffen. Seine von einer großen, bleichen, grünlichgelben Hülle umgebenen Blütenkolben schieben sich im Frühling wie umgekehrte Tüten aus der Erde hervor; die Blütenhülle beginnt sich zwischen 4 und 6 Uhr nachmittags zu öffnen, indem sich zugleich ein eigentümlicher, an Wein erinnernder Duft in der Umgebung bemerkbar macht. Wird nun ein Thermometer in die Höhlung dieses Hüllblattes eingeführt, so ergibt sich, daß bei einer gleichzeitigen Lufttemperatur von ungefähr 15° die Temperatur im Inneren auf 40, ja mitunter sogar auf nahezu 44° steigt. Solche Aroideen zeigen demnach im Bereich ihrer atmenden Blüten eine Temperatur, die jene des menschlichen Blutes noch übertrifft.

In dem Maß, als mit steigender Temperatur der umgebenden Luft vom Morgen bis zum Nachmittage die Energie des Atempens zunimmt, erhöht sich auch die Temperatur im Inneren der Blüten, wie aus folgenden Messungen hervorgeht, die an einer gegen den direkten Einfluß der Sonnenstrahlen geschützten Stelle an der Blüte eines Fingerhutes von 7 Uhr morgens bis 3 Uhr nachmittags von zwei zu zwei Stunden vorgenommen wurden:

Temperatur im Inneren der glockenförmigen Blumentrone	
des roten Fingerhutes.	8,8°, 15,2°, 17,7°, 20,0°, 21,2°
Gleichzeitige Temperatur der umgebenden Luft.	8,7°, 15,0°, 17,2°, 19,1°, 19,5°
Unterschied	0,1°, 0,2°, 0,5°, 0,9°, 1,7°

Während die Entbindung von Wärme an allen lebenden Pflanzen vorkommt und eine natürliche Folge der Atmung, d. h. der physiologischen Verbrennung von Kohlenstoffverbindungen ist, wird bei ihnen die Entwicklung von Licht, welche sonst mit den Verbrennungsvorgängen vielfach verbunden erscheint, nur äußerst selten beobachtet. Leicht zu beobachten ist sie bei jenen Spaltpilzen, durch welche das Leuchten toter Fische (*Bacillus lucifer* u. a.) und von Fleisch (*Bacterium phosphoreum*) veranlaßt wird, bei einigen, den Algen nahestehenden marinen Peridineen, welche an dem Meeresleuchten beteiligt sind, und bei mehreren Hutpilzen. Von diesen letzteren sind zunächst jene hervorzuheben, bei denen die oberirdischen Sporenträger, zumal das an der unteren Seite des Hutes entwickelte Sporenlager, bisweilen auch der den Hut tragende Strunk, das Leuchten zeigen. Hierher gehören namentlich der brasilische *Agaricus Gardneri*, der in Amboina heimische *Agaricus igneus*, der in Manila vorkommende *Agaricus noctilucens* und der in Südeuropa durch das mittelländische Florengebiet weitverbreitete *Agaricus olearius*. An diese Gruppe schließt sich eine zweite, bei welcher das Leuchten nicht von den Sporenträgern, sondern von dem Myzelium ausgeht, als deren Vorbild der unter dem Namen Hallimasch bekannte *Agaricus melleus* gelten kann. Das Myzelium dieses Blätterpilzes ist sehr vielgestaltig. Es bildet teils dickere, dunkle, durch Querspangen vielfach verbundene Stränge, welche sich vorzüglich zwischen Holz und Rinde hingehen und dort häufig die sonderbarsten Netze und Gitter bilden, teils sehr zarte und dünne, dunkle Fäden, welche sich in das Holz, und zwar mit Vorliebe senkrecht auf die Längsachse des betreffenden Stammes, einlagern, und endlich ungemein zarte, farblose Fäden, welche die Holzzellen in der auf S. 384 geschilderten Weise durchwachsen, das ganze Holz förmlich durchspinnen und für das freie Auge nur erkennbar werden, wenn sie sich zu Netzen verweben, die man dann als weißliche Nester, Fäden, Franzen und Häutchen den Wandungen der im

zerstörten Holze sich bildenden Spalten und Löcher aufgelagert sieht. Diese feinen Fäden und Gespinste des Myzeliums sind es auch, welche das merkwürdige Leuchten zeigen. Dort, wo sie die Holzzellen ganz durchwuchern, macht es den Eindruck, als ob das Holz selbst leuchten würde, und gemeinhin spricht man auch von leuchtendem Holz und leuchtendem Moder der Baumstrünke. Am schönsten beobachtet man dieses Leuchten in der freien Natur im Hochsommer und Herbst nach mehrtägigem Regenwetter, wenn das von dem Myzelium durchwucherte Holz von den atmosphärischen Niederschlägen befeuchtet wurde. Doch darf die von dem Holz aufgenommene Feuchtigkeit ein gewisses Maß nicht übersteigen. Eine zu starke Durchnässung verhindert die Lichterscheinung gerade so wie eine zu weitgehende Austrocknung. Entfernt man das Holz von der Stelle, wo es besonders schön leuchtet, so nimmt das Leuchten ziemlich rasch ab, um endlich ganz zu erlöschen, wenn auch an dem neuen Orte scheinbar die ganz gleichen Verhältnisse und Lebensbedingungen gegeben sind. Leuchtendes Holz, welches im Freien in der Nacht aufgelesen und in eine Stube oder in einen Keller gebracht wird, wo möglichst genau jene Bedingungen hergestellt sind, unter denen das Leuchten in der freien Natur stattfand, zeigt in der ersten Nacht die Lichterscheinung noch ganz ungeschwächt, aber schon nach 24 Stunden erreicht sie gewöhnlich ihr Ende. Bringt man leuchtendes Holz in einen abgeschlossenen Raum, wo die Erneuerung der atmosphärischen Luft und damit des Sauerstoffes derselben nicht ausgiebig genug stattfindet, so hört das Leuchten sehr bald auf. Erhöhung der Temperatur wirkt nicht immer befördernd auf das Leuchten ein, was vorzüglich darin seinen Grund haben dürfte, daß die Erhöhung der Temperatur eine Änderung im Feuchtigkeitszustande des Holzes nach sich zieht. Im Waldgrunde kann man, wenn anders die Feuchtigkeitsverhältnisse sich gleichbleiben, das Leuchten länger als eine Woche hindurch Nacht für Nacht an dem gleichen Holzstrunke beobachten. Das Licht, das von dem Myzelium ausgeht, läßt sich schwer mit irgendeinem anderen vergleichen. Es ist nicht so grün wie jenes der Leuchtfläse und hat auch nicht jenen Schimmer, wie er beim Meerleuchten vorkommt; es ist ein weißes, mattes Licht. Am meisten nähert es sich dem des reinen, unter Wasser gehaltenen Phosphors. Im Dunkel des Waldes macht es einen befremdenden und darum unheimlichen Eindruck. Die „Irrlichter“ dürften, zum Teil wenigstens, auf leuchtendes Holz zurückzuführen sein. Wenn man einen von dem leuchtenden Myzelium durchwucherten morschen Baumstrunk mit Gewalt anstößt, so daß er in Hunderte von Bruchstücken zersplittert, die in weitem Umkreise zerstreut zu Boden fallen, so zeigt noch jeder Splitter das Leuchten, und der dunkle Waldgrund ist mit größeren und kleineren Lichtpunkten wie besät. Das Leuchten solcher Bruchstücke hat aber bis zur nächsten Nacht gewöhnlich schon sein Ende erreicht.

Das von dem Sporenlager und dem Stiele der in die erste Gruppe der leuchtenden Hutpilze gehörenden Arten der Gattung *Agaricus* ausgehende Licht gleicht ganz jenem des Myzeliums des Hallimasch, und auch die äußeren Bedingungen, unter welchen es zustande kommt, sind ähnliche. Nur haben hier die Feuchtigkeitsverhältnisse nicht jenen auffallenden Einfluß, den man am leuchtenden, von Myzelfäden durchwirkten Holze bemerkt. An *Agaricus olearius*, der zwischen dem Wurzelwerke der Obäume wächst und seine goldgelben Sporenträger im Spätherbst ausbildet, bemerkt man wenigstens das Leuchten ebensowohl bei trockenem Wetter wie in feuchter Luft nach einem Regentage. Sobald die Lufttemperatur unter 3° herabsinkt, hört das Leuchten sogleich auf; am schönsten dagegen zeigt sich die Lichterscheinung bei 8—10°; bei höheren Temperaturgraden nimmt sie nicht weiter zu, sondern allmählich wieder ab. Die Entziehung des Sauerstoffes der Luft hat sofort ein Verschwinden der Lichterscheinung

im Gefolge. Sobald aber die atmosphärische Luft neuerdings Zutritt erhält, stellt sich auch das Leuchten wieder ein. Die absterbenden Blätterchwämme leuchten immer schwächer und schwächer; mit dem Leben erlischt auch ihr Leuchten. Noch ist zu bemerken, daß nicht nur bei Blätterchwämmen mit leuchtendem Sporenlager, sondern auch bei solchen mit leuchtendem Myzelium das Leuchten sowohl bei Nacht als am Tage stattfindet. Nur wird es am hellen Tag im Freien nicht gesehen; sobald man aber das betreffende Gebilde in einen dunkeln Raum bringt, kann die Lichterscheinung auch während der Tageszeit beobachtet werden. Infolge von Besonnung während des Tages wird das Leuchten in der darauffolgenden Nacht nicht verstärkt, und die Erscheinung hat daher mit jenem eigentümlichen Phosphoreszieren, welches der am Tage der Sonne ausgesetzte Flußspat in der nächsten Nacht zeigt, nichts gemein. Außer an modernem Holz hat man auch bei verwesenden Blättern des Waldbodens ein schwächeres, von Mikroorganismen verursachtes Leuchten beobachtet.

Das Leuchten aller dieser Organismen findet immer nur in dem lebendigen Protoplasma statt, es handelt sich nicht um eine von den Bakterien und Pilzen ausgeschiedene leuchtende Substanz. Die Abhängigkeit der Erscheinung vom Sauerstoffzutritt legte die Annahme nahe, das Leuchten als eine Atmungserscheinung anzusehen. Andere Forscher sind der Meinung, daß es sich nicht um Atmung handle, sondern daß in der leuchtenden Zelle ein Stoff gebildet werde, der bei Sauerstoffzutritt zu leuchten beginne.

Nun gibt es zwar organische Stoffe, welche in alkalischer Lösung bei Zutritt von aktivem Sauerstoff zu leuchten beginnen. Aber man darf deshalb noch nicht ohne weiteres annehmen, daß sich solche Stoffe in den genannten leuchtenden Pflanzen bilden, und daß dann der eingeatmete Sauerstoff die Lichterscheinung veranlaßt. Bis jetzt ist es nicht gelungen, einen solchen Leuchtstoff in den Zellen nachzuweisen. Die Leuchtbakterien überziehen nur die Oberfläche des leuchtenden Fleisches und der Fische, eine frische Schnittfläche leuchtet nicht. Taucht man leuchtendes Fleisch in siedendes Wasser, so hört sein Leuchten auf, da die Bakterien getötet werden. Die Leuchtbakterien lassen sich auf Gelatine kultivieren, und es lassen sich dann mit ihnen interessante Versuche anstellen. So wirkt Bakterienlicht auf die photographische Platte, und man kann damit bei 14—15stündiger Belichtungszeit scharfe Bilder von Gegenständen erhalten.

Über den Vorteil, den das Leuchten für die Pflanze selbst hat, kann man nur Mutmaßungen aussprechen, denn es ist nicht gesagt, daß alle Erscheinungen des Lebens einem bestimmten Nutzen dienen. Bei den Leuchtbakterien ist gar kein Nutzen ihrer Leuchtkraft zu erkennen. Bei den leuchtenden Hutpilzen wäre es möglich, daß den Pilzmücken und Pilzkäfern, welche ihre Eier in die Myzelien und Sporenträger der Hymenomyzeten legen, und dabei deren Sporen verbreiten, in der dunkeln Nacht der Weg gezeigt wird. Mehrere dieser Mücken und Käferchen fliegen bei Nacht und wenden sich, wie so viele geflügelte Nachttiere, bei ihrem Fluge leuchtenden Gegenständen zu. Es wäre nun immerhin möglich, daß das von den genannten Blätterchwämmen ausgehende Licht als Anlockungsmittel und Wegweiser für die genannten in der Nacht fliegenden Insekten dient, ähnlich wie der Duft und die lebhaftere Farbe anderer Hymenomyzeten für Pilzfliegen und Pilzkäfer, welche am hellen Tage schwärmen. Aber auch bei dieser Annahme ist Vorsicht nötig, da sie auch falsch sein kann. Physiologisch ist das Leuchten zunächst eine Erscheinung, die notwendig aus den Stoffwechselvorgängen der leuchtenden Pflanze folgt und deren Zweck nur durch genaue Beobachtung erkannt werden kann.

3. Gärungen.

Die Gewinnung von Betriebsenergie für Stoffwechsel- und Entwicklungsvorgänge durch Atmung ist mit Stoffverlust verbunden. Bei größeren Pflanzen, besonders den mit Chlorophyll begabten, die diesen Verlust leicht ersetzen können, kann derselbe keine nachteiligen Folgen haben. Stellt man sich jedoch mikroskopische Pflanzen ohne Chlorophyll vor, deren Körpersubstanz kaum wägbare ist, so erscheint hier jeder Verlust unerwünscht. Wären solche Pflanzen in stande, statt von ihrer Körpermasse etwas zu oxydieren, Substanzen, die sie von außen aufnehmen, chemisch so zu spalten, daß dabei ein Energieüberschuß bliebe, so wäre das eine treffliche Ökonomie. Es mußte nun auffallen, daß in der Tat viele der kleinsten Organismen, die Bakterien und Hefepilze, sich dadurch auszeichnen, daß sie die verschiedensten chemischen Zersetzungen in den Substraten, auf denen sie wachsen, hervorrufen, Zersetzungen, die man wegen gewisser äußerer Übereinstimmungen als Gärungen bezeichnet. Diese Gärungen, von denen die alkoholliefernde Gärung des Zuckers in der Wein- und Bierbereitung seit alten Zeiten eine praktische Bedeutung gehabt hat, sind nach dem Stande heutiger Forschung als Vorgänge des Energiegewinnes anzusehen und der Atmung in dieser Beziehung gleichzustellen. In ihrem chemischen Verlauf dagegen sind die Gärungen von der Atmung der höheren Pflanzen und auch unter sich sehr verschieden. Es wird dabei meistens kein Luftsauerstoff aufgenommen, und es entstehen andere und mannigfaltige Produkte. Man pflegt die Gärungen nach den entstehenden Hauptprodukten als Essiggärung, Alkoholgärung, Butter säure-, Milchsäuregärung, Farbstoffgärung usw. zu bezeichnen.

Die verschiedenen Arten der Hefepilze, die man auch Saccharomyzeten nennt, werden aus kugelförmigen oder ellipsoidischen Zellen gebildet, welche bei weitem größer sind als die Zellen der Spaltpilze und sich auch in einer wesentlich anderen Weise vermehren. Die Vermehrung erfolgt nämlich bei ihnen durch Sprossung, d. h. es entstehen an der Oberfläche der Zellen kolbenförmige Ausstülpungen, die sich rasch vergrößern, so daß jede Ausstülpung in kürzester Zeit der Zelle, aus der sie hervorsproßt, gleichkommt. Die so gebildete Tochterzelle trennt sich von der Mutterzelle ab und kann nun selbst wieder durch Sprossung Tochterzellen erzeugen. Mitunter bleiben mehrere aufeinanderfolgende Sprossungen unter sich verbunden und bilden dann Kolonien, welche in ihrer Gruppierung einigermaßen an die Feigenkaktus oder Opuntien erinnern (s. nebenstehende Abbildung). Die Hefe veranlaßt alkoholische Gärung. Durch ihre Zellen wird Traubenzucker in Alkohol und Kohlendioxyd gespalten, wobei auch noch geringe Mengen von Bernsteinsäure und Glycerin entstehen. In lebenden Pflanzen in der freien Natur tritt diese Gärung niemals auffällig hervor; desto wichtiger wird sie bei der im großen künstlich betriebenen Erzeugung alkoholischer Getränke aus Trauben und anderen Früchten sowie aus Traubenzucker, den man aus stärkehaltigen Samen, Knollen und Wurzeln gewonnen hat, also beispielsweise bei der Bereitung von Wein, Cider, Bier, Branntwein, Pulque, Rum und dergleichen mehr. Auch bei Bereitung des Brotes und verschiedener anderer Gebäcke sind die Hefezellen als Gärungserreger beteiligt. Der Teig, den man durch Anrühren des Mehles mit Wasser erzeugt, enthält Dextrin und Zucker, welche aus der Stärke des Mehles hervorgegangen sind. Dieser Teig wird mit Hefe oder mit Sauerteig (Teig, der von früherem Gebäcke zurückgeblieben ist und Hefezellen enthält) versetzt. Der Alkohol bleibt zunächst im Teige zurück, das Kohlendioxyd sucht zu entweichen, wird aber gleichfalls

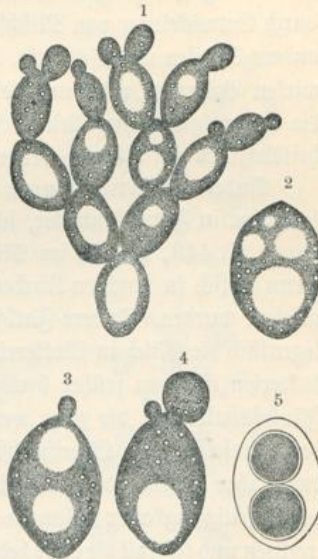
zuerst im Teige zurückgehalten und bildet in demselben Blasen, die auch späterhin in dem fertigen Gebäck noch als größere und kleinere Hohlräume sichtbar sind. So wird der fertige Teig lockerer und dadurch leichter verdaulich. Es steht fest, daß nur lebende Hefe Gärung hervorzurufen kann, und diese also wie die Atmung ein Lebensvorgang ist. Aber man war lange im unklaren, wie die Hefezellen es fertig bringen, den aus der Gärflüssigkeit aufgenommenen Zucker in Alkohol, Kohlensäure, Milchsäure und andere Nebenprodukte zu spalten. Vor einer Reihe von Jahren erst ist es gelungen, aus der lebenden Hefe ein Enzym, die Zymase, zu gewinnen, welches in Zuckerlösungen Gärung erregen kann. Man ist also der Ansicht, daß das Protoplasma der Hefezellen diese Zymase erzeugt, welche auf noch unerklärte Weise die Zuckermoleküle spaltet.

Ganz anders als die Hefegärung nehmen sich die Bakteriengärungen aus. Sie sind nicht an Zuckerlösungen gebunden wie die Hefe, sondern erzeugen auf den verschiedensten Substraten, wie Milch, Eiweißstoffen und Gelatine, auffallende chemische Zersetzen.

Die Bakterien (Spaltpilze) zählen zu den kleinsten Lebewesen. Die größten Formen haben einen Durchmesser von $\frac{1}{500}$, die kleinsten von ungefähr $\frac{1}{2000}$ mm. Was ihnen an Größe abgeht, ersetzen sie aber durch die ungeheueren Zahl der Individuen, und diese wird wieder bedingt durch die Raschheit, mit welcher die Vermehrung stattfindet. Man hat beobachtet, daß in Flüssigkeiten, deren chemische Zusammensetzung und Temperatur den Spaltpilzen zusagt, innerhalb 20 Minuten eine Zelle so weit heranwächst, um sich in zwei teilen oder spalten zu können, und berechnet, daß aus einer einzigen Zelle binnen 8 Stunden über 16 Millionen und binnen 24 Stunden viele Milliarden solcher Zellen entstehen können. Die Fähigkeit, sich so rasch zu vermehren, verleiht den Spaltpilzen die Fähigkeit, scheinbar plötzlich aufzutreten.

Die Vermehrung kann nur auf Kosten der Flüssigkeit und überhaupt des Nährbodens stattfinden, in dem diese Mikroorganismen leben. Allein das Merkwürdige ist, daß sie sich nicht damit begnügen, dem Nährboden so viel Stoff zu entnehmen, als sie für den Aufbau ihrer winzigen Zellen brauchen, sondern daß sie große Mengen dieses Nährbodens in Substanzen umwandeln, die sie nicht zur Existenz benutzen und auch gar nicht benutzen können.

Die winzigen Bakterien sind gar merkwürdige Chemiker, die die verschiedensten Dinge fertig bringen, aber ohne Laboratorium, ohne Reagenzien und hohe Temperaturen. Sie können manchmal mehr leisten als der Chemiker, und wir lassen sie daher zu den verschiedensten Zwecken für uns arbeiten. Die Essigsäure ist ein Oxydationsprodukt des Äthylalkohols. Der Chemiker kann unter Zuhilfenahme von Platinmohr den Alkohol durch den Sauerstoff der Luft oxydieren, er kann auch Oxydationsmittel anwenden, aber diese Methoden sind nicht wirtschaftlich, daher destilliert er zur Gewinnung von Essigsäure essigsaures Natron mit Schwefelsäure. Die Essigbakterien (*Bacterium aceti*; s. Abbildung, S. 443, Fig. 3 und 4) verstehen es, in Berührung mit Alkohol ihn ohne weiteres zu oxydieren und in Essigsäure umzuwandeln. Da verdünnte Essigsäure, Essig, im Haushalt in Menge gebraucht wird, so läßt man sie gleich



Hefepilze: 1—4 sprossende Hefe (*Saccharomyces cerevisiae*), 5 Sporenbildung in einer schlauchförmigen Zelle von *Saccharomyces cerevisiae*. 1000fach vergrößert. (Zu S. 440.)

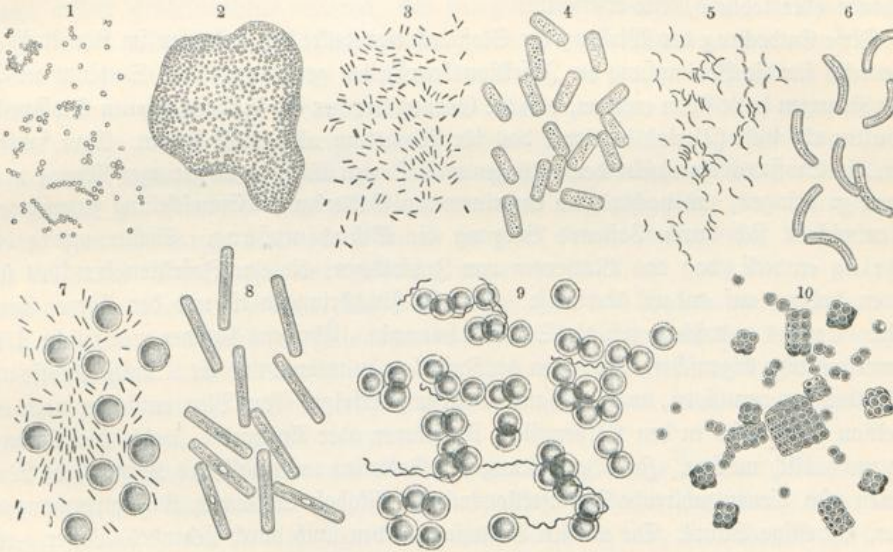
diesen bereiten. Das geschieht durch die Schnelleßigfabrikation, wobei man verdünnten Spiritus langsam über Sägespäne, die in einem großen Bottich aufgehäuft sind, träufeln läßt. Durch Zusatz von altem Essig bringt man die Essigbakterien hinein, die sich auf den Hobelspänen ausbreiten und ihre Tätigkeit beginnen. Der oben aufsteigende Spiritus ist, unten im Faß angelangt, zu Essig geworden und kann abgezogen werden. Die Benutzung der Milchsäurebakterien zur Erzielung von saurer Milch, von Sauerkraut und sauren Gurken ist bekannt. Keime der Bakterien finden sich in jeder Milch. Läßt man diese bei günstiger Temperatur stehen, so bilden die Bakterien aus dem Milchzucker Milchsäure, welche das Kasein ausfällt und die Gerinnung herbeiführt. Der saure Geschmack der anderen genannten Speisen wird ebenfalls durch Entwicklung von Milchsäurebakterien hervorgerufen. Sie verderben aber auch häufig andere Speisen und Getränke, die dann sauer und ungenießbar werden. Bei der Käsebereitung wirken Bakterien mit, und jedes Gramm fertigen Käses enthält noch Millionen Bakterien, die wir mitgenießen; allein Schaden können sie nicht anrichten, da sie sich nicht wie die Krankheitsbazillen im Körper weiter entwickeln, sondern im saueren Magensaft zugrunde gehen.

Anderer Bakterien können Farbstoffe erzeugen, und von diesen hat der auf Brot, Kartoffeln usw. in Form blutroter, schleimiger Tropfen auftretende *Bacillus prodigiosus* (s. Abbildung, S. 443, Fig. 1) im Mittelalter zum schlimmsten Aberglauben Veranlassung gegeben, wenn er sich in feuchten Kirchenräumen auf Hostien zeigte, die dann als blutende Hostien angesehen wurden. Andere Farbstoffbakterien erzeugen indigoblaue Farbstoffe und verderben gelegentlich die Milch in Molkereien. Über die Stickstoffbakterien, Leuchtbakterien und Schwefelbakterien ist schon früher berichtet worden. Am verbreitetsten sind die zahlreichen Formen der Fäulnisbakterien, die zwar wenig Anziehendes in ihrer Tätigkeit besitzen und bei Zersetzung der schwefelhaltigen Eiweißsubstanzen das übelriechende Schwefelwasserstoffgas erzeugen, aber durch ihre zerstörende Tätigkeit segensreich wirken, denn sie nehmen den größten Anteil an der Beseitigung aller Pflanzen- und Tierleichen, die ohne ihre Mitwirkung einfach zusammen trocknen und überall die Erde bedecken würden. Die Fäulnisbakterien aber bilden aus diesen Substraten meist flüssige Stoffe, die in den Boden sickern und verschwinden. Zuweilen dienen sie auch dem Feinschmecker, da sie den von manchen geschätzten Wildgeschmack des Fleisches veranlassen.

Wir sehen, daß die Bakterien die verschiedensten zucker- und eiweißhaltigen Substrate zersetzen. Nun ist aber das Blut mit seinen eiweißartigen Verbindungen und seinen Kohlenhydraten ein äußerst günstiger Nährboden für sie, auch die Temperatur des Blutes des Menschen und der Säugetiere (35—37°) könnte für die Entwicklung der Spaltpilze nicht günstiger sein, und so wird es begreiflich, daß eine einzige in das Blut gelangte schmarotzende Spaltpilzelle der Ausgangspunkt für eine Anzahl gleicher Zellen werden kann, welche in verhältnismäßig kurzer Zeit die ganze Blutmasse zu verändern und zu zersetzen vermögen. Bei ihrer außerordentlichen Kleinheit können die Spaltpilze an zahlreichen Stellen in die Strombahn des Blutes von außen her eindringen, jede verletzte Stelle, jeder Nadelstich, jede Wundfläche kann zur Einfallspforte werden, auch durch alle Mündungen von Kanälen menschlicher und tierischer Körper, vor allem durch die Mündungen der Atmungsorgane können die Spaltpilze einwandern, in die feinsten Blutgefäße, die sogenannten Kapillaren, eindringen und so in den Blutkreislauf gelangen.

Daß zahlreiche Erkrankungen des Menschen und der Tiere durch Spaltpilze veranlaßt werden, ist nachgerade außer Frage gestellt. Daß Blattern, Scharlach, Diphtherie, Rotlauf, Rogkrankheit, Lepra, Pest, Milzbrand, Tuberkulose, Typhus, Cholera, Masern durch

Spaltpilze veranlaßt werden, hat die Bakteriologie festgestellt. Früher nannte man die ansteckende Ursache, von deren Wesenheit man aber nur ganz unklare Vorstellungen hatte, *Kontagium* und *Miasma*. Die Erscheinungen an den durch Ansteckung erkrankten Organismen lassen aber auf eine Verschiedenheit der durch die schmarogenden Spaltpilze veranlaßten Zersetzungen schließen, und man sieht daher die Krankheitserreger als verschiedene, besondere Arten an. Durch eine bestimmte Art schmarogender Zellen kann in der gleichen Flüssigkeit immer nur dieselbe Zersetzung eingeleitet werden. Wenn daher die Spaltungs- oder Zersetzungsprodukte in ein und derselben Flüssigkeit sich anders darstellen, so kann das wohl nur auf eine Verschiedenheit der schmarogenden Zellen zurückgeführt werden, obwohl es oft sehr



Spaltpilze: 1 *Bacillus prodigiosus*, 2 Zooglybform desselben; 3 und 4 *Bacterium aceti*, bei schwächerer und stärkerer Vergrößerung; 5 und 6 *Spirillum Cholerae asiaticae*, bei schwächerer und stärkerer Vergrößerung; 7 und 8 *Bacterium (Bacillus) Anthracis*, bei schwächerer und stärkerer Vergrößerung; 9 *Spirochaete Obermeieri*; 10 *Sarcina ventriculi*. — In den Figuren 7 und 9 sind auch die Blutkörperchen dargestellt, um die Größe der im Blute lebenden Spaltpilze abschätzen zu können. Fig. 1, 2, 3, 5, 7, 9: 300fach, Fig. 4, 6, 8: 2200fach, Fig. 10: 1800fach vergrößert.

schwer ist, diese einfachen Formen an ihrer Gestalt zu unterscheiden. Die Medizin ist der Ansicht, daß jede eigenartige ansteckende Krankheit, soweit sie als Bakterienkrankheit erkannt ist, auch durch eine eigene Art Spaltpilze veranlaßt wird.

Die Mehrzahl der Spaltpilze, welche als Erreger von Krankheiten bei Mensch und Tier angesehen werden, sind übrigens sehr deutlich schon durch die Form ihrer Zellen voneinander zu unterscheiden. So erscheint die Bakterie, welche die Diphtherie veranlaßt, *Micrococcus diphthericus*, in Gestalt winziger sphärischer, dicht gehäufter Zellen, jene, welche als Ursache des Milzbrandes erkannt wurde, *Bacterium Anthracis* (s. obenstehende Abbildung, Fig. 7 und 8), als gerade, stäbchenförmige, unbewegliche Zelle; beim Rückfalltyphus findet man während des Fieberanfalles im Blute des infizierten Menschen fadenförmige, schraubig gedrehte, unendlich zarte, sich lebhaft bewegende Gebilde: *Spirochaete Obermeieri* (Fig. 9), im Darne der an Cholera Erkrankten die vielbesprochenen Komma Bazillen: *Spirillum Cholerae asiaticae* (Fig. 5 und 6), und im Magen der an Pyrosis Erkrankten das Paketbakterium *Sarcina ventriculi* (Fig. 10).

Der Zusammenhang der Krankheiten mit den Bakterien wird durch die Möglichkeit der Übertragung von Krankheiten durch Impfung bewiesen. Wenn solche Überimpfung durch Zufall geschieht, so nennt man sie Ansteckung oder Infektion, und deshalb die Bakterienkrankheiten Infektionskrankheiten. Die Kenntnis dieser Krankheitserreger (der pathogenen Bakterien) ist besonders durch die Reinkulturen auf Gelatinenährboden, welche Pasteur und Robert Koch einführten, gefördert worden, und diese Methodik hat sich zu einer besonderen Wissenschaft, der Bakteriologie, entwickelt. Die krankmachende Wirkung der Bakterien beruht nur selten auf ihrer massenhaften Entwicklung in den Blutgefäßen, sondern darauf, daß sie im Blut, ähnlich wie die Gärungserreger, chemische Spaltungen veranlassen und dabei krankmachende oder tödliche Gifte erzeugen.

Diese Entdeckung der Wirkung der Stoffwechselprodukte der Bakterien im Körper ist sehr folgenreich für die Bekämpfung der Infektionskrankheiten geworden. Das Studium der Bakteriengärungen hatte schon ergeben, daß die Gärungserreger sich in ihren eigenen Stoffwechselprodukten ein Gift (Toxin) bereiten, das ihr Wachstum allmählich hemmt. Man faßte die Idee, die Stoffwechselprodukte der pathogenen Bakterien künstlich in geringer Menge in den Körper zu bringen, um nachträglich eindringenden Bakterien die Entwicklung zu erschweren. So entwickelte sich durch Pasteurs Vorgang die Schutzimpfung. Später wurde durch Behring entdeckt, daß das Blutserum von Individuen, die eine Infektionskrankheit überstanden haben, auf andere überimpft, ebenfalls schutzbringend ist und den Körper immun macht. Daraus entwickelte sich die Serumtherapie. Übrigens hat der menschliche Körper die merkwürdige Eigenschaft, sich gegen die Infektion zu wehren und die Krankheitsstoffe unter Umständen zu vernichten, worauf dann Genesung erfolgt. Im Blut entstehen nach einer Infektion Gegengifte in den Körperzellen, Antikörper oder Antitoxine, welche die Bakteriengifte unschädlich machen. Zur Vernichtung der Bakterien außerhalb des Körpers, in Wohnräumen usw. dienen zahlreiche Desinfektionsmittel: Alkohol, Sublimat, Kaliumpermanganat, Chlor, schweflige Säure. Die meisten Bakterien werden auch durch siedendes Wasser getötet, und heißer Dampf ist das einfachste Desinfektionsmittel für Sterilisation im großen, z. B. bei Eisenbahnwagen. Durch den englischen Chirurgen J. Lister wurde die Antisepsis, d. h. die Anwendung von Desinfektionsmitteln, bei der Wundbehandlung eingeführt.

4. Die Bedeutung der Wärme für die Pflanze.

Der Physiolog, der durch Beobachtung und Experiment die Abhängigkeit der einzelnen Lebensbedingungen von den äußeren Bedingungen feststellt, wird bald auf die Notwendigkeit gewisser Temperaturgrade aufmerksam, ohne welche die Lebenserscheinungen überhaupt nicht flott verlaufen. Die früher geschilderte Bewegung der Protoplasten, die Bewegung der Blätter, die geotropischen und anderen Reizbewegungen verlangen ein günstiges Temperaturmaß. Aber auch wenn wir, wie es in diesem Buche geschehen ist, die Pflanze als eine unteilbare Erscheinung betrachten, ergibt die Erfahrung bald, daß ihre ganze Entwicklung abhängig ist von dem Wärmezustand der Umgebung, der auch auf den Organismus übertragen wird. Für alle Entwicklung ist Wärme nötig, so viel Wärme, daß die Organe und ihre Gewebe leistungsfähig bleiben können. Wenn in den gemäßigten Zonen, in denen sich das Jahr in

Frühling, Sommer, Herbst und Winter teilt, der Sommer zur Reize geht und die Tage kürzer und kürzer werden, wenn im Laufe der langen Nächte der Boden mehr Wärme durch Strahlung verliert, als ihm im Laufe des Tages zugeführt wird, und wenn dann auch die Pflanzen selbst stark erkalten, hört das Wachstum oberirdisch völlig auf, und die ganze Tätigkeit der Gewächse beschränkt sich darauf, sich für die Winterszeit einzupuppen, die Stoffe, welche noch in der nächsten Vegetationsperiode verwendbar sind, aus dem sommergrünen Laube zurückzuziehen und in geschützten Borratskammern unterzubringen. Den Winter hindurch ruhen dann die gegen den Frost nicht geschützten, erkalteten Teile, und das Wachstum ist in ihnen vollständig unterbrochen. Endlich ist der Winter vorüber; der letzte Schnee hat sich unter dem Hauche milder Frühlingslüfte verloren, das hartgefrorene Erdbreich ist von den Banden des Frostes befreit. Allermwärts regt sich erneutes Leben; die Knospen schwellen, die Bäume schmücken sich mit Blüten und frischem Laube, die Fluren ergrünen, die Samen keimen, und die Saaten auf den Feldern sprießen zur Freude des Landmannes kräftig empor. An warmen, sonnigen Frühlingstagen wächst alles mit erstaunlicher Schnelligkeit, an kühlen, trüben Tagen ist der Zuwachs nur gering. Kommt dann gelegentlich einmal ein Rückschlag, und sinkt die Temperatur wieder tief herab, so steht das Wachstum wohl auch ganz still. Man hat gefunden, daß der Zuwachs junger krautiger Pflanzen an zwei aufeinanderfolgenden Tagen infolge eines plötzlichen Wettersturzes und plötzlich eintretender Kälte von 8 cm auf $\frac{1}{2}$ cm herabgesunken war. Niemand zweifelt, daß solches Nachlassen des Wachstums mit dem Sinken der Temperatur im ursächlichen Zusammenhange steht, so wie ja auch das rasche Wachstum auf Rechnung der raschen Wärmezunahme gebracht wird, wobei selbstverständlich immer vorausgesetzt wird, daß der andere, früher besprochene Factor des Wachstums, nämlich das Wasser, in genügender Menge vorhanden ist.

Woher beziehen die Pflanzen die zu ihrer Entwicklung nötige Wärme? Bei Erwägung dieser Frage mag man zunächst an jene Wärme denken, welche in der Pflanze selbst bei der Atmung frei wird, und die nicht nur bei der Stoffwandlung und Stoffwanderung, sondern auch beim Wachstume sofort nach ihrer Entbindung wieder Verwendung finden kann. Die Wärme, welche bei der Atmung einer Pflanze entbunden wird, ist eigentlich nur der Sonnenstrahl, den diese Pflanze bei einer anderen Gelegenheit eingefangen hat, und in letzter Linie stammt alle Wärme, insoweit sie für das Leben der Pflanze in Betracht kommt, von der Sonne. Auch die Wärme, welche durch Leitung aus dem Boden, dem Wasser und der Luft in die Pflanzen gelangt, nimmt ihren Ursprung aus der Sonne, und diese ist es also, welche als Urquell aller von den Pflanzen verbrauchten Wärme anzusehen ist.

Man hat gefunden, daß die Sonne dreierlei Strahlengattungen aussendet, welche sich durch ihre verschiedene Schwingungsdauer unterscheiden, und die man als Wärmestrahlen, Lichtstrahlen und chemische Strahlen unterscheidet. Diese dreierlei schwingenden Bewegungen des Äthers beirren sich auf ihrem Wege so wenig wie Wellenkreise, die sich auf einer Wasseroberfläche kreuzen. Wir erkennen und messen sie an ihren Wirkungen. Sobald sie einen Körper treffen, wird von der lebendigen Kraft dieser Ätherwellen Arbeit geleistet, die wir uns als Bewegung der Moleküle und Atome des getroffenen Körpers denken, und welche entweder als Wärme oder Licht oder chemische Umsetzung in Erscheinung tritt. Es ist aber überaus merkwürdig, daß in der Pflanzenwelt nur jene Bewegung, die wir als Wärme auffassen, das Wachstum veranlassen kann. Jene Schwingungen, welche das Licht bilden, und deren große Bedeutung für die Bildung der Baustoffe und überhaupt der organischen Verbindungen aus

unorganischer Nahrung früher eingehend besprochen wurde, vermögen einen solchen Effekt nicht hervorzubringen, wenigstens nicht unmittelbar; ja, es liegen Anhaltspunkte vor, welche zu der Annahme berechtigen, daß das Wachstum durch Licht sogar beschränkt und gehindert wird. So viel ist gewiß, daß das Wachstum unter Abschluß des Lichtes in tiefster Dunkelheit vor sich gehen kann, wenn nur die beiden Faktoren Turgor und Wärme keine Einschränkung erfahren. Die meisten Samen und Sporen keimen im Dunkeln, die Zellen der unterirdischen Stengel und Niederblätter, die der tief unter der Erde gebetteten Wurzeln sowie die Myzelien der Schwämme wachsen, auch wenn sie dem Lichte völlig entzogen sind. Auch Pflanzenteile, welche aus lichten in dunkle Räume gebracht werden, wachsen dort fort, immer vorausgesetzt, daß ihnen an der dunkeln Stelle das nötige Maß von Feuchtigkeit und Wärme zukommt.

Zuweilen können sich Pflanzen, namentlich solche mit fleischigen Blättern, wie *Echeveria* und andere, in der Sonnennähe bis zur Lebensgrenze erwärmen. Im allgemeinen aber erwärmen sich die Organe höchstens eben über die Lufttemperatur, schon weil ihre Transpiration wieder eine Ursache des Wärmeverlustes ist. Es ist daher auch kaum anzunehmen, daß die Pflanzen die von außen zugeführte Wärme als Energiequelle benutzen. Höhere Temperatur setzt offenbar die Protoplasten in den Zustand stärkerer Lebensbetätigung und fördert deshalb unter Umständen ein Gedeihen, weil sie zunächst bloß auf die einzelnen Organe wirkt. Z. B. kann die Erwärmung des Bodens die bis dahin wegen ungenügender Erwärmung ruhende Wurzel-tätigkeit, d. h. die Wasseraufnahme, antregen und dadurch auch das Wachstum der oberirdischen Organe in Bewegung bringen, ohne daß diesen selbst größere Wärmemengen zugeflossen wären. Die Physiologie hat die Verhältnisse der Pflanze zur Wärme noch so wenig durchdringen können, daß wir über ihre Wichtigkeit zunächst vorwiegend durch die bloße Anschauung belehrt werden. Ist doch schon der große Unterschied der Pflanzenformen und der Pflanzenentwicklung in kalten und warmen Ländern außerordentlich in die Augen fallend. Aber auch in ein und demselben klimatischen Gebiet scheint die periodische Entwicklung, wie wir sie z. B. bei uns innerhalb eines Jahres so deutlich verfolgen können, in auffallender Weise von der Temperatur abzuhängen. Man glaubte daher den Versuch machen zu können, unter Absehen von den übrigen äußeren Bedingungen den jährlichen Entwicklungsgang auf die Temperatur zu beziehen, und hat diesen Zweig der Wissenschaft als Pflanzenphänologie bezeichnet. Wir wollen in folgendem ohne Voreingenommenheit prüfen, welche Sicherheit die Methode der Phänologie gewähren kann.

Die Berechnung der zur Entwicklung nötigen Wärme (Phänologie).

Nach der zur Erklärung zahlreicher Lebenserscheinungen mit bestem Erfolge herangezogenen mechanischen Wärmetheorie kann jede Bewegung in Wärme verwandelt und durch Wärme gemessen werden. Sollte es nicht möglich sein, diesen Grundsatz auch auf die Pflanzenwelt, zumal auf die Erscheinungen der Entwicklung und des Wachstums, in Anwendung zu bringen, sollte es nicht möglich sein, festzustellen, wieviel Wärme die Pflanze zu jeder ihrer Arbeiten in einem bestimmten Zeitraume verbraucht, und danach ihr Wärmebedürfnis als eine konstante Größe ziffermäßig festzustellen? Diese Frage wurde oftmals gestellt, und es fehlt auch nicht an Versuchen, dieselbe zu beantworten. Es wäre ja nicht nur von theoretischem, sondern auch von großem praktischen Werte, zu wissen, wieviel Wärme unsere Forstbäume,

unserer Getreidearten und andere Nutzpflanzen zum Abschluß ihres jährlichen Lebenszyklus bedürfen, zu wissen, wieviel Wärme notwendig ist, damit die Samen dieses oder jenes Kulturgewächses keimen, die aufgekeimten Pflanzen zum Blühen kommen und endlich wieviel keimfähige, vollwichtige Samen aus den Blüten hervorgehen. Könnte man diese Wärmemengen, welche man thermische Vegetationskonstanten nennen würde, feststellen, so würde sich auch für jeden Ort aus den dort herrschenden Wärmeverhältnissen im vornhinein berechnen lassen, ob diese oder jene Pflanzenarten noch fortkommen, ob sie noch reife Früchte bringen können, und ob ihr Anbau ein vorteilhafter und empfehlenswerter ist oder nicht.

Die in der angeedeuteten Richtung bisher gewonnenen Resultate lassen freilich noch sehr viel zu wünschen übrig, sind aber doch von Interesse, so daß sie hier nicht mit Stillschweigen übergangen werden dürfen. Was zunächst die ersten Wachstumsvorgänge, die Keimung von Sporen und Samen, anlangt, so hat sich durch Versuche herausgestellt, daß nicht wenige Arten schon bei sehr niederen Temperaturen zu keimen vermögen. Die Samen des weißen Senfes, des Hanfes, des Weizens und Roggens, des Spizahorns und des Ackerweilchens keimen schon bei einer Temperatur, welche dem Eispunkte sehr nahe steht, zwischen 0 und 1°; andere, wie die Gartenkresse, der Lein, Spinat, die Zwiebel, der Mohn, die Zuckerrüben und das englische Raigras, keimen bei Temperaturen zwischen 1 und 5°; Fisoln, Esparsette, Rispenhirse, Mais, Sonnenblumen bei Temperaturen zwischen 5 und 11°; Paradiesapfel, Tabak, Kürbis bei Temperaturen zwischen 11 und 16°; Gurken, Melonen und Kakaobohnen erst über 16°. Das ist so zu verstehen, daß die Melonensamen, wenn sie in eine feuchte Erde gelegt werden, deren Temperatur unter 15° liegt, zwar Feuchtigkeit einsaugen und anschwellen, daß sich aber in den Zellen des Embryos bei dieser Temperatur noch nicht jene Veränderungen vollziehen, welche als Wachstum zu gelten haben. Erst wenn die Temperatur des Keimbettes über 15° steigt, streckt sich der Embryo und schiebt sich das Würzelchen aus den Samenhüllen vor. Alle diese Zahlen würden aber für sich allein nur ein sehr unvollkommenes Bild von den Wärmebedürfnissen der keimenden Samen geben, wenn nicht auch ermittelt würde, wie lange der Same den angegebenen Temperaturen ausgesetzt sein muß, damit sich sein Embryo vergrößert und auswächst. Wenn man ein Hühnerei nur zwei oder drei Tage einer Temperatur von 35—40° aussetzt, so wird dasselbe nicht ausgebrütet; nur dann, wenn es sich 20—21 Tage hindurch unter dem Einflusse dieser konstanten Temperatur befindet, kann das Ei ausgebrütet werden. Wie aus der folgenden Tabelle hervorgeht, verhält es sich mit den Pflanzensamen nicht anders. Die Tabelle läßt auch erkennen, welche Samen höhere Temperatur zur Keimung bedürfen und welche mit niederer auskommen.

Es keimten bei einer konstanten Temperatur von	die Samen von	in Tagen	Es keimten bei einer konstanten Temperatur von	die Samen von	in Tagen
4,6°	Leindotter	4	10,5°	Vibernell	10
	Erbfen	5		Mais	11
	Spinat	9		Rispen-Mohrhirse	13
	Mohn	10		Rümmel	16
	Zuckerrüben	22		Sonnenblumen	25
10,5°	Mohar	24	15,6°	Paradiesapfel	6
	Fisoln	3		Tabak	9
	Lieschgras	6		18,5°	Gurken
Esparsette	7	Melonen	17		

Wenn man nun die Zahl der Tage mit der Temperatur multipliziert, so könnte das Produkt als eine empirische Formel für die zum Keimungsprozeß nötige Wärme angesehen werden. Es wird nun vorausgesetzt, daß dieses Produkt eine konstante Größe sei, und man nennt es die „thermische Konstante“. Es würde sich auf diese Weise für das Keimen der Samen des Leindotters die thermische Konstante 184, für den Mohn 460, für den Mais 1155 uff. ergeben.

Bei diesen Berechnungen kommen selbstverständlich nur die konstanten Temperaturen des von den Sonnenstrahlen nicht direkt getroffenen Keimbettes in Betracht. Bei weitem verwickelter gestaltet sich die Sache, wenn es sich darum handelt, auch die Konstanten für andere Entwicklungsstufen der Pflanzen, für das Vorschieben des Laubes aus den Knospen, das Öffnen der ersten Blüten und das Reifen der ersten Früchte, festzustellen. Diese Wachstumserscheinungen finden nämlich bei den meisten im Freien stehenden Pflanzen nicht im Schatten, sondern in der Sonne statt. Auch ist an den Beobachtungsorten die Temperatur nicht konstant, sondern wechselt von Stunde zu Stunde, erreicht kurz vor Sonnenaufgang ihren niedrigsten und in den ersten Stunden des Nachmittags ihren höchsten Stand. Da nun die Erfahrung gezeigt hat, daß sich die Größe des Zuwachses vorzüglich nach der höchsten Temperatur in der Sonne richtet, so wurden zur Berechnung der Konstanten für die oben-erwähnten Wachstumsphänomene weder die Schattentemperaturen noch die Mitteltemperaturen, sondern die Angaben des der Sonne ausgesetzten Maximumthermometers benutzt. Man summierte, vom ersten Januar angefangen, die täglichen an einem der Sonne ausgesetzten Maximumthermometer abgelesenen Temperaturen bis zu dem Tag, an welchem an einem in nächster Nähe stehenden, von der Sonne beschienenen Pflanzenstocke die Laubblätter sich aus der Knospe vorschoben, die ersten Blüten sich entfalten und die ersten Samen reifen, und nahm die so gewonnenen Zahlen als Konstanten an.

Eine Auswahl aus den auf diesem Wege durch mehrjährige Beobachtungen im mittleren Deutschland (früher von Hoffmann in Gießen) gewonnenen Konstanten möge hier ihren Platz finden.

Konstanten für das Hervortreten der Laubblätter aus den Knospen.

Stachelbeere (<i>Ribes Grossularia</i>)	478°	Rotbuche (<i>Fagus silvatica</i>)	1439°
Haselnuß (<i>Corylus Avellana</i>)	1061°	Walnußbaum (<i>Juglans regia</i>)	1584°

Konstanten für die Entfaltung der ersten Blüten.

Haselnuß (<i>Corylus Avellana</i>)	226°	Koßkastanie (<i>Aesculus Hippocastanum</i>)	1708°
Seidelbast (<i>Daphne Mezereum</i>)	303°	Goldregen (<i>Cytisus Laburnum</i>)	1818°
Kornelrösche (<i>Cornus mas</i>)	576°	Fichte (<i>Abies excelsa</i>)	1904°
Apriose (<i>Prunus Armeniaca</i>)	843°	Schwarzer Holunder (<i>Sambucus nigra</i>)	2313°
Kellerhalsblättrige Weide (<i>Salix daphnoides</i>)	968°	Tulpenbaum (<i>Liriodendron tulipifera</i>)	2538°
Stachelbeere (<i>Ribes Grossularia</i>)	1138°	Weinstock (<i>Vitis vinifera</i>)	2878°
Vogelkirsche (<i>Prunus avium</i>)	1265°	Großblättrige Linde (<i>Tilia grandifolia</i>)	3033°
Apfelbaum (<i>Pirus Malus</i>)	1423°	Kleinblättrige Linde (<i>Tilia parvifolia</i>)	3274°
Stieleiche (<i>Quercus pedunculata</i>)	1556°	Kastanie (<i>Castanea sativa</i>)	3660°
Flieder (<i>Syringa vulgaris</i>)	1556°	Trompetenbaum (<i>Catalpa syringaeifolia</i>)	4275°
Walnußbaum (<i>Juglans regia</i>)	1584°	Herbstzeitlose (<i>Colchicum autumnale</i>)	5024°
Sauerdorn (<i>Berberis vulgaris</i>)	1615°	Efeu (<i>Hedera Helix</i>)	5910°

Konstanten für die Fruchtreife.

Gemeine Erdbeere (<i>Fragaria vesca</i>)	2671°	Stachelbeere (<i>Ribes Grossularia</i>)	3596°
Vogelkirsche (<i>Prunus avium</i>)	2778°	Eberesche (<i>Sorbus Aucuparia</i>)	4339°
Seidelbast (<i>Daphne Mezereum</i>)	2935°	Gerste (<i>Hordeum vulgare</i>)	4403°
Rote Johannisbeere (<i>Ribes rubrum</i>)	3069°	Apriose (<i>Prunus Armeniaca</i>)	4435°

Apfelbaum (<i>Pirus Malus</i>)	4730°	Pflaume (<i>Prunus domestica</i>)	5780°
Sauerdorn (<i>Berberis vulgaris</i>)	4765°	Weinstock (<i>Vitis vinifera</i>)	5780°
Schwarzer Holunder (<i>Sambucus nigra</i>).	4913°	Koßkastanie (<i>Aesculus Hippocastanum</i>)	6034°
Kornelkirsche (<i>Cornus mas</i>)	5416°	Stieleiche (<i>Quercus pedunculata</i>)	6236°

Konstanten für den Beginn des Laubfalles.

Traubenkirsche (<i>Prunus Padus</i>)	6179°	Haselnuß (<i>Corylus Avellana</i>)	6884°
Kleinblättrige Linde (<i>Tilia parvifolia</i>)	6644°	Stachelbeere (<i>Ribes Grossularia</i>)	6884°
Schwarzer Holunder (<i>Sambucus nigra</i>)	6644°	Kotbuche (<i>Fagus silvatica</i>)	6884°
Birnbaum (<i>Pirus communis</i>)	6788°	Weinstock (<i>Vitis vinifera</i>)	6913°
Walnußbaum (<i>Juglans regia</i>)	6816°	Stieleiche (<i>Quercus pedunculata</i>)	6979°
Trompetenbaum (<i>Catalpa syringaefolia</i>)	6816°	Apfelbaum (<i>Pirus Malus</i>)	6999°
Kellerhalsblättrige Weide (<i>Salix daphnoides</i>)	6838°	Kastanie (<i>Castanea sativa</i>)	7023°
Koßkastanie (<i>Aesculus Hippocastanum</i>)	6863°	Vogelkirsche (<i>Prunus avium</i>)	7023°

Berechnungen der an denselben Pflanzen, aber an anderen Orten und in verschiedenen Jahren ausgeführten Beobachtungen haben zwar annähernd die gleichen Zahlen ergeben, und es hat den Anschein, als ob diese Konstanten wirklich etwas Konstantes wären, aber das Vertrauen auf dieselben wird durch die nachfolgenden Betrachtungen einigermaßen herabgemindert.

Was zunächst das Keimen der Samen anlangt, so läßt sich aus verschiedenen Erscheinungen schließen, daß auf diesen Wachstumsvorgang neben der Temperatur des Keimbettes nicht zum wenigsten auch die bei der Atmung im Inneren der Samen frei werdende Wärme Einfluß hat. Samen, in deren Zellen das Protoplasma durch einen äußeren Anstoß, vielleicht durch ein Minimum strahlender oder geleiteter Wärme, einmal in raschere Bewegung versetzt worden ist, atmen ziemlich lebhaft. Dabei werden die in ihnen aufgespeicherten Reservestoffe verbrannt, und es wird so viel Wärme frei, daß nicht nur ein Auswachsen des Embryos ermöglicht ist, sondern daß auch noch Wärme an die Umgebung abgegeben werden kann. Man hat die Würzelchen keimender Horn- und Weizenfamen, die zufällig in Eiskeller gelangt waren, in die Eisblöcke hineinwachsen sehen, was nur dadurch geschehen konnte, daß die aus den Samenhüllen hervorbrechenden Würzelchen das Eis, mit dem sie in Berührung kamen, zum Schmelzen brachten und sich ähnlich wie die auf S. 433—435 beschriebenen und auf der Tafel bei S. 433 abgebildeten Blütenknospen der Soldanellen in die gebildete Höhlung einschoben. In vielen Fällen darf man demnach bezweifeln, daß das beim Keimen beobachtete Wachstum des Embryos nur auf Rechnung der gemessenen, den Samen aus der Umgebung zugekommenen Wärme zu setzen ist. Auch ist es zweifelhaft, ob die an dem Thermometer abgelesene, auf die Pflanze von außen eindringende Wärme nur zum Wachstum verwendet wird. Ein Teil derselben kann verbraucht werden, um den betreffenden Pflanzenteil am Leben zu erhalten, ein anderer Teil kann bei der Herstellung und bei der Wandlung und Wanderung der Baustoffe nutzbar sein, und nur der Restteil mag bei dem Wachstum eine Rolle spielen. Aber nicht genug an dem; es ist auch zweifelhaft, ob die auf die Pflanze von außen eindringende gemessene Wärme innerhalb des angegebenen Zeitraumes immer auch vollständig zu allen im Inneren der Pflanze sich abspielenden chemischen Umsetzungen und molekularen Umlagerungen verwertet wird, und ob nicht mitunter ein unbenutzter Überschuß vorhanden ist, der dann bei der Berechnung eigentlich abgezogen werden sollte. Es wird bei den Berechnungen stillschweigend vorausgesetzt, daß dann, wenn die Pflanze einer konstanten Temperatur von 20° zwölf Stunden lang ausgesetzt ist, die gesamte Wärme, welche das Quecksilber zwölf Stunden hindurch bis zu 20° auszu dehnen imstande

war, auch von der Pflanze verwertet wurde. Daß dem aber nicht immer so sei, zeigen die nachfolgenden Beobachtungen:

Es keimten die Samen des	ausgesetzt einer Temperatur von	in Stunden	daraus berechnete Konstante
Weißen Senfes (<i>Sinapis alba</i>) . . . {	4,6°	48	220,8
	10,5°	36	378,0
Hanfes (<i>Cannabis sativa</i>) . . . {	4,6°	72	331,2
	10,5°	48	504,0
Leines (<i>Linum usitatissimum</i>) . . {	4,6°	144	662,4
	10,5°	96	1008,0
Maises (<i>Zea Mais</i>) {	16,1°	144	2318,4
	44,0°	80	3520,0

Aus diesen Beobachtungen läßt sich leicht entnehmen, daß in jenen Fällen, wo der Same einer Pflanzenart höherer Temperatur ausgesetzt war, nur ein Teil der zugeführten Wärme zum Keimen wirklich verwendet wurde, und daß daher die auf Grundlage dieser Beobachtungen berechneten Konstanten viel zu hoch ausfallen mußten.

Nur dann, wenn wir am Thermometer die innerhalb einer bestimmten Zeit wirklich von der nebenstehenden Pflanze verbrauchte Wärmemenge ablesen könnten, würden die danach berechneten Konstanten den Anspruch auf Genauigkeit haben und zu Vergleichen brauchbar sein. Diese Bedingungen sind aber eben nicht erfüllt. Gewöhnlich wird hier nur „post hoc propter hoc“ geschlossen, es werden Thermometerangaben in Rechnung gebracht, in denen auch der von der Pflanze nicht verwendete Wärmeüberschuß enthalten ist, und demzufolge sind dann die Konstanten auch nicht der richtige Ausdruck für die zum Wachstum wirklich verwendete Wärmemenge.

Noch weit unsicherer als bei den in beschatteter Erde keimenden Samen sind die Grundlagen, auf welche sich die Berechnung der Konstanten für die unter dem direkten Einflusse der Sonnenstrahlen wachsenden oberirdischen Organe stützt. Schon der Umstand, daß die Sonnenstrahlen auf Laub, Blüten und Früchte wesentlich anders wirken als auf das Quecksilber des Thermometers, muß Bedenken erregen. Diesem Übelstande kann freilich dadurch abgeholfen werden, daß man bei allen Beobachtungen die gleichen Instrumente verwendet und entsprechende Korrekturen in Anwendung bringt; wichtiger ist dagegen, daß wir keinen Anhaltspunkt haben, um zu ermitteln, wieviel Licht in dem wachsenden, den Sonnenstrahlen ausgesetzten Organ in Wärme umgewandelt wird. Mit zunehmender Seehöhe wächst die Intensität des Lichtes, und es wächst auch seine Bedeutung für das Wachstum von einer Höhenstufe des Landes zur anderen. Diese Beziehungen ziffermäßig, zumal an den im Freien beobachteten Pflanzen und Thermometern, festzustellen, ist aber unmöglich.

Es darf nicht übersehen werden, daß sich die Wärmeaufnahme auch nach der Individualität der beobachteten Pflanzen und nach der Konstitution des Protoplasmas der betreffenden Art richtet. Die Samen des weißen Senfes werden schon durch Temperaturen, die ganz nahe dem Eispunkte liegen, zum Wachstum angeregt, während die Samen der Melone erst keimen, wenn auf sie wenigstens 17 Tage lang die Temperatur von 18,5° Einfluß genommen hat. Das beweist, daß jede Art gewissermaßen ihren eigenen unteren Nullpunkt hat, bei dem das Wachstum beginnt, und es sollte eigentlich bei allen Berechnungen der zum Wachstum der Stengel und des Laubes einer bestimmten Art

verbrauchten Wärme immer nur von diesem Nullpunkt ausgegangen werden. Da man aber in der Phänologie alle Grade über 0° des Thermometers addiert, so wird eine Temperatur in Anrechnung gebracht, die für die betreffende Art bedeutungslos war. Auch ist es eine von allen Beobachtern bekräftigte Erfahrung, daß bei den meisten Pflanzen zur Ausbildung der Blüten höhere Temperaturen als zur Entwicklung des Laubes und zum Reifen keimfähiger Samen wieder höhere Temperaturen als zur Entfaltung der Blüten notwendig sind. Einzelne Arten zeigen allerdings auch in dieser Beziehung rätselhafte Abweichungen. Die Akazie (*Robinia Pseudacacia*) entwickelt in Unteritalien ihre Blüten vor den Laubblättern, und wenn dort die Akazienbäume schon in voller Blüte stehen, sind ihre Laubblättchen noch klein und zusammengefaltet; nordwärts der Alpen entfalten sich durchweg die Laubblätter zu gleicher Zeit mit den Blüten. Und doch bringen die Phänologen in allen Fällen die von dem Thermometer angezeigte Wärme so in Rechnung, als ob sie von der Pflanze in allen Entwicklungsstadien in gleicher Weise verbraucht worden wäre.

Endlich ist noch darauf hinzuweisen, daß gewisse Veränderungen, welche während der scheinbaren Ruhe eines Samens oder eines Pflanzenstocjes sich im Inneren vollziehen und die für die späteren augenfälligen Wachstumsercheinungen eine große Bedeutung haben, der Beobachtung und Berechnung vollständig entzogen sind. Wenn man die Knollen der Kartoffel im Herbst aus der Erde nimmt und in den Keller bringt, so hat es den Anschein, als ob in den einzelnen Zellen derselben alle Bewegungen, alle Umlagerungen und chemischen Umsetzungen ganz unterbrochen wären. Die Kartoffelknolle liegt ruhig in dem dunkeln unterirdischen Raum, in welchem den ganzen Winter hindurch eine konstante Temperatur von 10° herrscht. Es kommt der Frühling. Oberirdisch keimt und sprosst es aus der besonnten Erde frisch empor, und wir bringen diese Erscheinung mit der stärkeren Erwärmung durch die Strahlen der höherstehenden Sonne in Zusammenhang. In den Kellerraum fällt kein wärmender Sonnenstrahl, die Temperatur der Luft, der Erde und der monatelang hier gelegenen Kartoffelknollen ist immer gleichmäßig 10° , ja vielleicht jetzt um einige Zehntel tiefer, da sich erfahrungsgemäß die niederste Temperatur in den Kellern erst am Schlusse des Winters einstellt. Und dennoch beginnt jetzt da unten die Kartoffel auszuwachsen und schlankte Stengel aus den Knospen der Knolle hervorzutreiben, als ob sie es wüßte, daß der Frühling, die geeignete Zeit zum Sprossen und Wachsen, gekommen ist. Warum beginnt das Wachstum erst jetzt im März, warum hat es nicht schon im Dezember begonnen, da doch die äußeren Einflüsse, insbesondere die Temperatur der Umgebung im Bereiche des Kellerraumes, dazumal nicht anders waren, als sie es jetzt im Frühling sind? Auf diese Frage gibt es nur eine Antwort, und diese lautet: die Kartoffelknolle war im Dezember zum Auswachsen noch nicht ausgerüstet, sie war nur scheinbar in absoluter Ruhe, in Wirklichkeit vollzogen sich in ihren Zellen fort und fort chemische Umsetzungen und Umlagerungen, Zubereitungen und Herstellungen der Baustoffe, und diese waren im Dezember, Januar und Februar noch nicht so weit gediehen, daß es möglich gewesen wäre, Stengel, Blätter und Wurzeln aufzubauen. Erst jetzt im März sind die Vorbereitungen zum Auswachsen abgeschlossen, und erst jetzt kann jene Umgestaltung der Baustoffe, welche auch äußerlich als Wachstum erscheint, stattfinden. Die organischen Verbindungen, wie sie die Zellen der Knolle im Herbst enthielten, würden auch unter dem Einfluß einer Temperatur von 20° noch nicht zur Bildung von Stengeln, Blättern und Wurzeln getaugt haben. Alle diese Vorgänge bedürfen eben auch eines Zeitraumes, der sich durch Erhöhung der Temperatur weder

ersehen noch merklich abkürzen läßt. Man hat diese Periode als Ruheperiode bezeichnet, sie kommt auch bei Blütenzweigen zur Beobachtung. Mit Blütenknospen besetzte Kirschzweige kann man im Dezember im Zimmer in Wasser stellen, ohne daß sie ein Lebenszeichen von sich geben; tut man es im Februar, so beginnen die Blütenknospen sich zu öffnen in Folge der wärmeren Temperatur, gegen die sie vorher unempfindlich waren.

In der unterirdischen Zwiebel des Schneeglöckchens (*Galanthus nivalis*) bilden sich im Laufe des Sommers bereits die Anlagen für Blätter und Blüten des nächsten Frühlings, und Ende September sind bereits alle Teile der künftigen Blüte zwischen den umhüllenden Zwiebelnscuppen und Scheiden zu erkennen. Man sollte meinen, es wäre ein leichtes, diese Zwiebel durch Erhöhung der Temperatur und durch Feuchthalten des umgebenden Erdreiches zum Treiben zu bringen, so daß man schon im November blühende Schneeglöckchen haben könnte. Vielfältige Versuche haben aber gezeigt, daß die so behandelten Zwiebeln zwar Blätter entwickeln und einen Blütenstiel vorschicken, daß aber die Blüten nicht ordentlich auswachsen und immer frühzeitig zugrunde gehen, während doch vier Monate später bei Temperaturen, welche nicht viel über dem Nullpunkte liegen, das Wachstum der Blätter und Blüten ganz gut und rasch vonstatten geht. Und so wie mit den Knollen und Zwiebeln, für welche die Kartoffel und das Schneeglöckchen als allbekannte Beispiele gewählt wurden, verhält es sich auch mit vielen Wurzelstöcken, mit den meisten Knospen oberirdischer Zweige und mit zahlreichen Samen, Sporen und Sklerotien. Wie viele Pflanzen gibt es, die schon zeitig im Frühling blühen, im Vorfrühling ihre Früchte reifen, und deren von dem mütterlichen Pflanzentocke sich ablösende Samen schon im Hochsommer zu Boden fallen. Obgleich das Erdreich, in welches sie eingebettet sind, feucht und genügend durchwärmt ist, und obgleich alle äußeren Bedingungen des Keimens erfüllt sind, keimen sie doch nicht mehr in demselben Jahr, in welchem sie ausgestreut wurden. Erst im folgenden Frühling sprengen die Keimlinge die Samenhülle und treiben ihre Würzelchen hervor, und zwar häufig unter Verhältnissen, welche scheinbar weit ungünstiger sind, als es jene des verflossenen Sommers und Herbstes waren. Manche Samen, wie z. B. jene der Linden, müssen sogar zwei oder drei Jahre im Keimbette liegen, bevor sie keimen. Dergleichen Samen sind eben zur Zeit ihres Abfallens von der Mutterpflanze noch nicht reif oder, vielleicht besser gesagt, noch nicht keimfähig. Es müssen die in ihren Zellen enthaltenen Stoffe erst noch Umwandlungsprozesse durchmachen, ehe sie bei dem Auswachsen des Keimlings eine Verwendung finden können, und diese Umwandlungsprozesse lassen sich durch vermehrte Zufuhr von Wärme und Feuchtigkeit keineswegs beschleunigen. An manchen größeren Samen, wie z. B. denen der Hasel, der Buche und des Mandelbaumes, ist diese Verschiedenheit zwischen den eben vom Baume gefallenem noch nicht keimfähigen und den längere Zeit liegengelassenen und keimfähig gewordenen Samen schon an der Konsistenz, am Geschmack und Geruch leicht wahrzunehmen.

In besonders auffallender Weise tritt die hier besprochene Erscheinung auch an den Früchten der Wassernuß (*Trapa natans*) hervor. Bringt man Wassernüsse, welche sich von der Mutterpflanze abgelöst haben, im Herbst in ein mit Wasser gefülltes Gefäß und erhält die Temperatur des Wassers den ganzen Winter hindurch auf 15°, so wachsen die Würzelchen der Keimlinge doch erst im kommenden Frühling hervor, und zwar nicht erst bei einer erhöhten Temperatur, sondern bei derselben Temperatur, welcher die Wassernüsse sechs Monate lang ununterbrochen ausgesetzt waren. Auch wenn man die Temperatur des Wassers auf 20° erhöht, wird dadurch das Hervorwachsen der Würzelchen nicht beschleunigt, und es kann

somit die erhöhte Wärme erst dann als Anregungsmittel zum Wachstum wirksam werden, nachdem die Samen im Laufe der sechs Monate entsprechend zubereitet wurden. Die Gärtner sagen, solche Samen müssen „abliegen“ und „nachreifen“, und haben mit dem letzteren Ausdruck wohl das Richtige getroffen. Auch von den Sporen müssen viele längere Zeit abliegen und nachreifen. Manche keimen allerdings sofort, nachdem sie sich von der Mutterpflanze abgelöst haben; andere aber machen eine Ruheperiode durch, deren Dauer gewöhnlich mit großer Genauigkeit eingehalten wird und durch veränderte äußere Einflüsse wenig gekürzt werden kann. Sehr beachtenswert ist auch die Tatsache, daß in den Meeren tropischer Gegenden, deren Wasser jahraus, jahrein die gleiche chemische Zusammensetzung, die gleiche Temperatur und Beleuchtung zeigt, gewisse Arten der Florideen im März, andere im Juni und wieder andere im Oktober zur Entwicklung kommen.

Es wäre übrigens zu weit gegangen, wenn man von allen Arten behaupten wollte, daß die von ihnen in herkömmlicher Weise eingehaltene Ruheperiode durch äußere Einflüsse, namentlich durch Erhöhung der Temperatur, nicht beschleunigt werden könnte. Manche Samen, wie jene der Kresse, des Senfes, der Gerste und zahlreicher sogenannter Unkräuter, die sich auf bebautem Lande als unwillkommene Gäste einfinden, brauchen keine Ruheperiode, keimen zu jeder Jahreszeit, wenn ihnen die nötige Feuchtigkeit zugeführt wird, und ihre Entwicklung tritt desto rascher ein, je wärmer das Erdreich ist, das ihnen zum Keimbette dient. Es ist ja auch genügend bekannt, daß es Pflanzen gibt, welche, um mit den Gärtnern zu sprechen, „getrieben“ werden können. Tulpen, Maiglöckchen und Flieder, deren Ruheperiode im mittleren Europa von der Reisezeit der Samen im Sommer bis zum Frühling des nächsten Jahres dauert, kann man schon im Spätherbste, bald nachdem ihr Winter Schlaf begonnen hat, zum Treiben bringen, wenn sie im Gewächshause in warmer, feuchter Erde gepflegt werden. Sie entwickeln dann schon im Dezember oder Januar ihre Blüten, und in diesen Pflanzen sind daher die im vorhergegangenen Sommer erzeugten Stoffe schon im Herbst als Baumaterial beim Wachstum verwendbar. Eine im freien Lande wurzelnde Waldrebe (*Clematis Vitalba*) wurde, nachdem sie im Herbst ihr Laub verloren hatte, 3 m hoch über dem Boden durch einen engen Spalt in das Innere eines benachbarten Warmhauses gezogen. Aus den Knospen des von der warmen Luft im Warmhaus umgebenen oberen Nebenteiles entwickelten sich schon im Dezember beblätterte Triebe, während der außerhalb des Warmhauses befindliche, von kalter Luft umgebene untere Teil der Rebe noch gefroren war. Auch in dieser Pflanze wurden daher die im Sommer erzeugten Stoffe, alsbald nachdem sie in den Reservestoffbehältern deponiert waren, schon als Baustoffe verwendet.

Dasselbe muß wohl auch bei jenen Pflanzen der Fall sein, welche normal im Frühling blühen, in manchen durch besonders milden Herbst ausgezeichneten Jahren aber die für den nächsten Frühling angelegten und vorbereiteten Knospen schon im Oktober sprengen, frisch belaubte Stengel hervortreiben und in ein und demselben Jahre zweimal zum Blühen gelangen, wie beispielsweise manche Apfelbäume, Kastanienbäume, Veilchen, Erdbeeren, Primeln, Gentianen und Anemonen. Man hat es in neuerer Zeit auch erreicht, die Ruheperiode der Pflanzen dadurch aufzuheben, daß man sie Ätherdämpfen aussetzte. Mit dieser Methode werden jetzt Pflanzen von den Gärtnern frühzeitiger zum Blühen gebracht.

Wenn es mit Rücksicht auf die zahlreichen oben vorgebrachten Bedenken auch nicht zulässig ist, die bisher berechneten Konstanten als richtigen Ausdruck für die von den Pflanzenarten in ihren verschiedenen Entwicklungsstufen zum Wachstum verbrauchte Wärme aufzufassen,

so soll ihnen doch nicht jeder Wert abgesprochen werden. Vergleiche der an verschiedenen Orten nach derselben Methode, mit denselben Instrumenten und an denselben Arten gewonnenen Resultate werden ohne Zweifel noch zu manchem interessanten Ergebnisse führen. Die Feststellung des Beginnes der verschiedenen Entwicklungsphänomene, die Feststellung der Laub- und Blütenentfaltung, der Fruchtreife und des herbstlichen Blattfalles für möglichst viele Beobachtungsstationen ist nicht nur an und für sich ein höchst anziehendes Problem, sondern auch von einem gewissen wissenschaftlichen Wert, und zwar sowohl für die Erforschung des Pflanzenlebens überhaupt als auch ganz besonders für die Pflanzengeographie, indem die Grenzlinien, welche der Verbreitung der Gewächse gezogen sind, zum guten Teile dadurch ihre Erklärung finden, daß die betreffenden Arten ihren jährlichen Entwicklungskreis jenseit der Grenzlinie nicht mehr abzuschließen vermögen, und endlich auch für die Klimatologie, indem der jährliche Entwicklungsgang der Pflanzen in vielen Fällen das Klima einer Gegend anschaulicher zum Ausdruck bringt als der Gang der an dem betreffenden Ort aufgestellten Instrumente. Die sogenannten phänologischen Beobachtungen, das heißt die Feststellung des Erwachens der Natur am Schlusse des Winters oder nach Ablauf der Sommerdürre, die Ermittlung der Zeit, in welcher das Wachsen und Blühen seinen Höhepunkt erreicht, und die Fixierung der Periode, in welcher die Organismen wegen Ungunst der äußeren Verhältnisse in einen Winterschlaf oder Sommerschlaf verfallen, sind daher auch dann von Interesse, wenn es nicht gelingt, für den Eintritt eines jeden Phänomens die Wärmekonstante zu berechnen. Die nachfolgenden, in zwei Tabellen zusammengestellten Ergebnisse phänologischer Beobachtungen sollen dies bekräftigen. Die erste dieser Tabellen gibt eine Übersicht über die Verspätung der Vegetationsentwicklung im Frühling mit wachsender Polhöhe in Europa.

Vergleich mit Lesina im Adriatischen Meere, 43° 11' nördl. Breite, 34° 7' östl. Länge.

Nördliche Breite	Orte zwischen dem 20. u. 30. Meridian	Verspätung in Tagen	Orte zwischen dem 30. u. 40. Meridian	Verspätung in Tagen	Orte zwischen dem 40. u. 62. Meridian	Verspätung in Tagen
48—49°	Paris	43	Freiburg	58	Sarepta	66
50—51°	Brüssel	50	Prag	59	Kiew	68
52—53°	Dsnabrück . . .	63	Warschau	65	Drel	79
59—60°	Christiania . . .	86	—	—	Pulkowa	100

Zum Ausgangspunkte bei dem Vergleiche wurde die Insel Lesina im Adriatischen Meer gewählt, und zwar aus dem Grunde, weil dort die klimatischen Verhältnisse zwischen jenen der unter gleicher Breite im westlichen ozeanischen und im östlichen kontinentalen Europa gelegenen Orte die Mitte halten. Die mit Lesina verglichenen, nicht über 300 m Seehöhe liegenden Beobachtungsstationen wurden in drei Reihen geordnet, eine westliche zwischen dem 20. und 30. Meridian, eine mittlere zwischen dem 30. und 40. Meridian und eine östliche zwischen dem 40. und 62. Meridian. Überblickt man nun die Verspätung gegen Lesina mit zunehmender Polhöhe, so stellt sich das interessante Resultat heraus, daß diese Verspätung in der östlichen kontinentalen Reihe um zwei bis drei Wochen größer ist als in der westlichen Reihe. Zu einer Zeit, wenn in Paris schon zahlreiche Frühlingspflanzen in voller Blüte stehen, ist die Pflanzenwelt auf den unter gleicher Breite liegenden russischen Steppen (Sarepta) noch tief im Winterschlaf, und erst 23 Tage später rückt hier die Vegetation in das gleiche Stadium ein.

In der zweiten hier eingeschalteten Tabelle sind jene amerikanischen und europäischen Orte nebeneinander gestellt, an welchen das Aufblühen derselben Frühlingspflanzen gleichzeitig erfolgt.

Die Frühlingspflanzen blühen zu gleicher Zeit auf den Stationen:

Nordamerikas	Geogr. Breite	Europa	Geogr. Breite	Breiten- unterschied
New Albany	38° 17'	Dijon	47° 19'	9° 02'
Sylseshville	39° 23'	Kremsmünster	48° 30'	9° 07'
Belle Centre	40° 28'	Heidelberg	49° 28'	9° 00'
New York	40° 42'	Marburg (Hessen)	50° 47'	10° 05'
Germantown	42° 40'	Antwerpen	51° 13'	8° 33'
Baldwinville	43° 40'	Utrecht	52° 03'	8° 23'

Diese Tabelle zeigt, daß die geographische Lage der amerikanischen und europäischen Orte, an welchen die gleichen Frühlingspflanzen in das gleiche Entwicklungsstadium treten, um 8—10 Breitengrade abweicht, so daß z. B. in New York (mit Neapel unter gleicher Breite) die Pflanzen zu derselben Zeit aufblühen wie in dem um 10 Breitengrade nördlicher gelegenen Marburg.

Tödliche Wärmegrade.

Durch Erhöhung der Temperatur über eine gewisse Grenze hinaus wird das Pflanzenleben vernichtet. Im allgemeinen liegt diese Temperatur nicht einmal sehr hoch und noch weit unterhalb der Siedetemperatur des Wassers. Manche Pflanzen gehen schon zwischen 40—45° zugrunde, die meisten sicher zwischen 50—55°. Die Erscheinungen, die man äußerlich bei durch Wärme getöteten Pflanzen wahrnimmt, sind denen ganz ähnlich, welche bei durch Erfrieren getöteten beobachtet werden. Das grüne Gewebe ist verfärbt, zeigt ein dunkleres Kolorit, hat seinen Turgor eingebüßt, welkt und vertrocknet, und weder die Zufuhr von Wasser noch die Herabminderung der Temperatur können den früheren Zustand wiederherstellen. Im Inneren der Zellen sieht man das Protoplasma zusammengeballt, von der Zellhaut abgehoben und Wasser ausgeschieden, das bisher im molekularen Verbinde des Protoplasmas gestanden hatte. Sehr deutlich vermag man diese Veränderungen an Wasserpflanzen zu verfolgen, deren Zellwände so durchsichtig sind, daß sie den Einblick in das Innere der Zellkammern gestatten. Wenn man die auf S. 25, Fig. 3, abgebildeten Zellen der Wasserpflanze *Elodea* bei einer Temperatur des umgebenden Wassers von 30° unter dem Mikroskop betrachtet, so sieht man das Protoplasma in jener lebhaften Strömung, welche auf S. 37 geschildert worden ist. Wird die Temperatur auf 40° erhöht, so wird diese Strömung langsamer, und bei 41° hört sie ganz auf, ohne daß aber das Protoplasma sonst eine besondere Veränderung zeigen würde. Auch wenn die Temperatur auf 45° und allmählich bis 50° steigt, ändert sich nichts an dem Bilde; erst bei 52° tritt dann eine sehr auffallende Veränderung ein. Die im Protoplasma eingebetteten Stärkekörner werden rissig; das Protoplasma zieht sich zusammen und bildet krümelige, klumpige Massen, die sich um die zerklüfteten Stärkekörnchen ballen; es ist jetzt starr; die eiweißartigen Stoffe in ihm sind geronnen oder koaguliert. Sinkt nachträglich die Temperatur wieder auf 30° herab, so wird das Protoplasma doch nicht wieder beweglich und lebendig, und wir müssen daher annehmen, daß sein molekularer Aufbau bei 52° eine nicht mehr aufzuhebende Veränderung erlitten hat, daß es getötet worden ist.

In der Hauptsache beruht demnach der Wärmetod auf der Zerstörung und Tötung des Protoplasmas. Man hat wohl angenommen, daß die Temperatur besonders

die Eiweißstoffe des Protoplasmas zum Gerinnen bringe, aber dann müßte das Absterben der Pflanzen stets bei ein und derselben Temperatur erfolgen, was nicht der Fall ist. Es wäre aber vielleicht möglich, daß die verschiedenen Eiweißstoffe verschiedener Zellen bei verschiedenen Temperaturen (60—80°) gerinnen, wobei auch der Wassergehalt und die Gegenwart von Salzen und Säuren eine Rolle spielen könnten. Bei Gegenwart von Salzen kann z. B. das Gerinnen schon bei 50° erfolgen. Unter Annahme solcher Verhältnisse dürfte es nicht wundernehmen, daß Pflanzenarten, deren Protoplasma eine verschiedene Konstitution zeigt, bei sehr verschiedenen Temperaturen getötet werden. Man darf, wenn auch die Vorstellung von einer Gerinnung der Eiweißstoffe nicht ausreichend zur Erklärung des Wärmetodes ist, doch ziemlich sicher annehmen, daß es sich in erster Linie um chemische Veränderungen des Protoplasmas handelt. Die Vorgänge, welche an der oben erwähnten Elodea bei 30, 41 und 52° beobachtet wurden, sieht man an anderen Wasserpflanzen bei anderen Temperaturen eintreten. In den Zellen der Vallisnerie (*Vallisneria spiralis*), welche durch die Abbildung auf S. 25, Fig. 2, dargestellt werden, hört die Strömung des Protoplasmas erst bei über 43° auf, und die Ballung des Protoplasmas infolge des Gerinnens der Eiweißstoffe erfolgt erst bei 53—54°. Bei der in Madagaskar heimischen Wasserpflanze *Aponogeton fenestrata* findet die Tötung des Protoplasmas erst bei 55° statt. Manche Algen vertragen selbst noch höhere Temperaturen. In den Rinnen, durch welche das warme Wasser des Karlsbader Sprudels abfließt, gedeihen bei einer Temperatur von 55—56° noch dunkle *Dszillarien*; in den Quellen von Abano, welche eine Temperatur von nahezu 60° besitzen, findet sich noch *Sphaerotilus thermalis*, und auch in der Solfatara bei Neapel sind die Seitenwände der Felsenpalten, aus welchen der Dampf mit einer Temperatur von 55—60° herausqualmt, noch mit grünen Anflügen von Algen überzogen.

Bei den Pflanzen, welche nicht untergetaucht im Wasser leben, hat neben der spezifischen Konstitution des Protoplasmas auch der Wassergehalt auf das Überhitzigen einen wesentlichen Einfluß. Wenn die von Luft umgebenen Gewebe wasserarm sind, vertragen sie weit höhere Temperaturen, als wenn sie von Wasser strotzen. Für wasserreiche Zellen der Stein- und Erdpflanzen dürfte in den meisten Fällen 50° die höchste Temperatur sein, welche sie noch annehmen können, ohne zu sterben. Viele Dickblätter vermögen in der Sonne Temperaturen von 50—53° längere Zeit ohne Nachteil zu überdauern. Die Sporen von Schimmelpilzen (*Rhizopus nigricans* und *Penicillium glaucum*) hat man bei 54—55° noch keimen und sich weiterentwickeln sehen. Mehrere Spaltpilze, namentlich aus der Gattung *Bacterium*, werden erst bei einer Temperatur von 55° getötet. Im trockenen Zustande gehen jene Zellen und Gewebe, welche ohne Schaden austrocknen können, auch unter dem Einflusse weit höherer Temperaturen nicht zugrunde. Die Krustenflechten, welche an den Kalkfelsen auf den schattenlosen Einöden des Karstes in Sizilien und Dalmatien haften (*Aspicilia calcarea*, *Verrucaria purpurascens* und *V. calciseda*), sind an wolkenlosen Tagen im Sommer mehrere Stunden lang regelmäßig einer Temperatur von 58—60° ausgesetzt, ohne dadurch Schaden zu leiden, und die Mannaflechte (*Lecanora esculenta*), die auf S. 457 abgebildet ist, wird so wie das Gestein, dem sie in der Wüste angeheftet ist, oft genug auf 70° erhitzt, ohne zu verderben. Auch die Samen, welche oberflächlich dem Wüsten sand eingelagert sind und hier die lange Zeit der Dürre überdauern, nehmen ohne Zweifel die Temperatur ihrer Umgebung an. Diese beträgt am Nachmittage regelmäßig 60—70°, was aber für die Samen ohne Nachteil ist; denn wenn dann wieder die Regenzeit kommt, werden sie

aus ihrem Sommerschlaf geweckt und keimen aus dem befeuchteten und abgefühlten Boden hervor. Die höchste Temperatur in der oberflächlichen Bodenschicht wurde nahe dem Äquator auf der Station Chinchogo an der Loangoküste beobachtet. Dieselbe überstieg in sehr zahlreichen Fällen 75° , erreichte oft 80° und einmal sogar $84,6^{\circ}$. Auch diesem Boden fehlt es in der Regenzeit nicht an einjährigen Gewächsen, und ohne Zweifel haben die trockenen Samen dieser Gewächse in dem zeitweilig bis über 80° erhitzten Sande monatelang gelegen, ohne dadurch ihre Keimkraft einzubüßen. Es ist durch Versuche auch festgestellt, daß Samen, denen durch Chlorkalzium möglichst viel Wasser entzogen wurde, auf den Siedepunkt des Wassers gebracht werden können, ohne daß sie dadurch getötet werden. Von verschiedenen Samen, denen man 50 Stunden lang Wasser entzogen hatte, und welche dann 3 Stunden hindurch auf 100° erwärmt wurden, keimten noch jene der Linfen (und zwar 49 Prozent der zu dem Versuche verwendeten Samen), der Wicken (50 Prozent), des Knoblauchs (60 Prozent), des



Mannaflechte (*Lecanora esculenta*) in der Wüste.

Weizens (75 Prozent), des Majorans (78 Prozent) und der Melonen (96 Prozent). Selbst von solchen früher ausgetrockneten Samen, die ungefähr 15 Minuten lang einer Temperatur von 110 — 125° ausgesetzt wurden, keimte immer noch ein kleiner Teil, und es ist die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, daß es Arten gibt, deren Samen noch höhere Temperaturen ohne Nachteil vertragen.

Besonders sind manche niedere Pflanzen offenbar widerstandsfähiger gegen höhere Temperaturen als höhere Pflanzen. Es ist oben erwähnt, daß in warmen und heißen Quellen noch Algen, namentlich Dszillarien und deren Verwandte, vegetieren, außer im Karlsbader Sprudel auch in den Sinterbecken des Yellowstoneparks. Auffallend verhalten sich manche Bakterien, z. B. der Heubazillus, dessen Sporen durch einstündiges Kochen in Wasser nicht getötet werden. Man kann aber trotz alledem sagen, daß auch keine Spore der niederen Pflanzen auf die Dauer der Siedetemperatur widerstehen könne.

In der freien Natur laufen die Einrichtungen, durch welche die Pflanzen gegen zu hohe Temperatur geschützt sind, auf eine Wasserabgabe hinaus. Die Steinpflanzen, namentlich die Krustenflechten, welche am meisten in Gefahr sind, den Wärmetod zu erleiden, sind so organisiert, daß sie in kürzester Zeit viel Wasser fahren lassen können; sie werden dann starr und spröde, man kann sie zu Staub zerreiben, und es scheint kaum glaublich, daß diese ausgedorrtten Gebilde dennoch lebendig bleiben können. Mit den Steinmoosen verhält es

sich nicht anders. Auch mehrere Volvazineen, *Sphaerella pluvialis* und noch verschiedene andere in seichten Tümpeln und Rinnsalen lebende Sporenpflanzen vertrocknen nach dem Verdunsten des an ihrem Standort angesammelten Wassers mit dem Schlamme zu Staub und sind in diesem Zustande gegen das Versengen geschützt. Wird dieser Staub, welcher zur Zeit der Dürre täglich mehrere Stunden hindurch auf 60° erwärmt war, später befeuchtet, so erwachen alle die kleinen Sporenpflanzen wieder aus ihrem Scheintod, und, was nicht übersehen werden darf, auch die winzigen Nädertierchen und verschiedene Infusorien, welche in demselben erhitzten Staub eingelagert waren, rühren sich wieder, spielen mit ihren Wimpern und liefern den Beweis, daß auch für das tierische Protoplasma die rechtzeitige Wasserabgabe das beste Schutzmittel gegen das Versengtwerden ist. In den Wüsten und Steppen und in allen Gegenden, wo in heißer, regenloser Zeit der Boden oberflächlich bis zu 70° erwärmt wird, gibt es bekanntlich auffallend viele einjährige Gewächse. Sobald die heiße Periode beginnt, sind Blätter, Stengel und Wurzeln bereits abgestorben, und die Pflanzen haben ihre Samen ausgestreut. Diese Samen sind aber sehr wasserarm, können auch von dem wenigen Wasser, das sie enthalten, noch einen Teil ohne Nachteil abgeben und sind so gegen das Versengtwerden am besten geschützt.

Von den ausdauernden Pflanzen solcher Gebiete wirft ein Teil am Schlusse der Regenzeit das Laub ab und überdauert die heiße, trockene Periode mit entblätterten, scheinbar toten Zweigen (vgl. S. 271). Andere geben alle ihre oberirdischen Teile dem Versengen preis, erhalten sich nur unterirdisch in einer Region, wo die Erde niemals so hohe Temperaturen annimmt, und verschlafen dort die heiße Zeit als ruhende Knollen, Zwiebeln und Wurzelstöcke. Es darf hier auch daran erinnert werden, daß in Gegenden, wo hohe Temperaturen nicht mit großer Trockenheit gepaart sind, der übermäßigen Erwärmung durch die Verdunstung der saftreichen Gewebe gesteuert werden kann, indem bekanntlich die verdunstenden Körper immer auch eine Abkühlung erfahren. Endlich ist hier auch noch des Umstandes zu gedenken, daß manche Pflanzen Orte zur Ansiedelung wählen, wo sie der Beschädigung selbst an den heißesten Tagen des Jahres nicht ausgesetzt sind. Im Schutze schattenspendender Felswände und überall da, wo die Sonnenstrahlen nicht ungeschwächt und unmittelbar einwirken können, erreicht selbst am Äquator der Boden niemals jene Temperaturen, welche ein Versengen saftiger Pflanzenteile veranlassen könnten, und noch weniger vermöchte die an schattigen Stellen maßgebende Wärme der Luft eine solche Wirkung zu erzielen; denn die höchsten bisher beobachteten Schattentemperaturen gehen über 40° wenig hinaus (42° in Abu Krich in Arabien; 43,1° am Flusse Macquaire in Australien), und bei dieser Temperatur wird in keiner einzigen Pflanze das Protoplasma getötet.

Es fragt sich nun, wie die Ergebnisse, welche die Untersuchungen über den Wärmetod geliefert haben, mit den früher ermittelten Beziehungen der Wärme zur lebenden Pflanze, insbesondere mit der Theorie des Wachstums, in Einklang gebracht werden können. Wir haben uns das Wachstum als eine molekulare Arbeit der lebendigen Protoplasten gedacht und stellen uns vor, daß sich die Moleküle und Molekülgruppen des Protoplasmas wie bei jeder Arbeit in Wärmeschwingungen von gewisser Größe befinden, oder mit anderen Worten, daß für jede Arbeit und besonders für das Wachstum ein bestimmter Wärmegrad notwendig ist. Gehen nun die Wärmeschwingungen über die festgesetzte Grenze hinaus, so wird dadurch die Lagerung, es werden die gegenseitigen Beziehungen der Moleküle im Protoplasma vollständig geändert, und es erfolgen Umlagerungen, welche nachträglich nicht mehr gutgemacht

werden können. Dabei finden nicht bloß physikalische, sondern auch chemische Veränderungen statt. Das Protoplasma hat dann die Fähigkeit, sich weiter zu ernähren und sich zu vergrößern, eingebüßt, es ist getötet worden. Dasselbe geschieht aber auch, wenn die Intensität der Wärmeschwingungen unter ein gewisses Maß herabsinkt. Auch da erfolgen Umlagerungen in der Substanz des Protoplasmas, welche nicht wieder rückgängig zu machen sind und den Tod des lebendigen Protoplasten zur Folge haben. Durch ein Zuviel ebenso wie durch ein Zuwenig an Wärme kann demnach die molekulare Arbeit der lebendigen Protoplasten, welche als Wachstum erscheint, aufgehalten und sogar vollständig unterbrochen werden, und zwar erfolgt die Unterbrechung in dem Protoplasma verschiedener Arten auch unter dem Einflusse verschiedener Wärmegrade. So wie Wasser, Alkohol, Quecksilber bei bestimmten Temperaturen in Dampfform übergehen und bei bestimmten Temperaturen erstarren, so gibt es auch für das wasserhaltige Protoplasma jeder Pflanzenart eine Temperatur, bei der es gefriert. Allein während chemische Verbindungen bei Erhöhung der Temperatur wieder unverändert in ihren früheren Aggregatzustand zurückgehen, ist das beim Protoplasma nicht der Fall. Das Protoplasma wird durch Temperaturen unter 0° dauernd verändert, es ist tot.

5. Das Erfrieren.

Mamertus, Panfratius und Servatius, deren Namen im Kalender neben dem 11., 12. und 13. Mai stehen, führen in Deutschland und Osterreich im Volksmunde den Namen „Eisheilige“. Daß sie diesen Namen erhalten haben, hat seinen Grund in einem alljährlich um die Mitte des Mai eintretenden Rückschlage der Temperatur; dieser wird von gewissen Verschiebungen der Luftdruckverhältnisse über Westeuropa hervorgerufen, durch die eine kalte Luftströmung weit in den Kontinent hineingeführt wird. Es scheint, daß diese Luftströmung durch die starke Erwärmung der großen südosteuropäischen Niederungen (Ungarn) verursacht wird; die dort durch die Bodenerhitzung entstehende Luftverdünnung wirkt nach Nordwesten zu saugend. Es finden zwar auch noch später im Sommer ziemlich regelmäßig an gewissen Tagen solche mit großer Abkühlung der Atmosphäre verbundene Rückschläge statt, dieselben haben aber nicht die gleiche Beachtung gefunden, und zwar darum, weil sie für die Feldfrüchte, das Obst und den Wein nicht so gefährlich sind wie der Rückschlag um die Mitte des Wonnemonats. Wenn auch noch im Juni oder Juli recht kühle Tage eintreten, so haben dieselben doch niemals mehr einen Frost im Gefolge, während die drei Eismänner des Mai selbst in den mildesten Gegenden Mitteleuropas in den Nächten starke Fröste bringen und unberechenbaren Schaden für die noch in der Entwicklung begriffenen Pflanzen nach sich ziehen können.

In einem gefrorenen Pflanzenteile fällt zunächst auf, daß er seine Elastizität vollständig eingebüßt hat. Wenn man ein gefrorenes, steif gewordenes Laubblatt beugt und mit den Fingern zusammendrückt, so entsteht sofort eine bleibende Falte; das Blatt erscheint entlang der Falte geknickt und hat nicht mehr die Fähigkeit, die frühere Lage anzunehmen. Beim Knicken hört man ein knirschendes Geräusch, ähnlich wie beim Brechen körnigen Eises, und in der Tat ist es auch kristallinisches Eis, welches sich im Inneren des Blattes gebildet hatte, das durch den Druck zerbrochen wird und dabei dieses Knirschen hören läßt. Erhöht sich im Laufe des Tages die Temperatur, so tauen die gefrorenen Pflanzen auf. Die meisten erhalten

aber dann nicht mehr die Elastizität, welche sie vor dem Froste bejessen hatten; die Blätter hängen schlaff herab, zeigen auch ein anderes Grün und sind mehr durchscheinend, als sie es früher waren. Auch ist die Oberfläche feucht, und die Oberhaut löst sich leicht von den tieferen Gewebeschichten ab. Allmählich schrumpfen die welken Blätter, vertrocknen und nehmen eine braune oder schwarze Farbe an. Sie haben dann das Aussehen verkohlter oder verbrannter Blätter, und der Landwirt sagt auch, der Frost habe die Blätter verbrannt.

Was geht nun bei diesem Erfrieren der Pflanzen in ihrem Inneren vor? Die Vorstellung, welche sich die Botaniker einst von dem Erfrieren machten, war folgende. Der wässrige Zellsaft der Pflanze erstarret zu Eis; das Eis nimmt aber einen größeren Umfang an, als der flüssige Zellsaft hatte, und infolgedessen werden die Wände der Zellen in den Blättern zerrissen und gesprengt, ähnlich wie die Glaswand einer Flasche, in welcher Wasser gefroren ist. Ein Gewebe, dessen Zellen zerrissen sind, kann aber seinen Funktionen nicht mehr nachkommen. Wenn auch bei nachträglich zunehmender Temperatur das Eis wieder schmelzen sollte, so ist doch der Schade an den zerrissenen Zellhäuten nicht wieder gutzumachen; zudem entströmt auch der Zellsaft aus den Zellkammern einer aufstauenden Pflanze, und man sieht die nach dem Erfrieren wieder aufgetauten Blätter und Stengel nicht nur geschwärzt, weich und schlaff, sondern auch mit Wassertröpfchen besetzt oder mit einer wässrigen Schicht überzogen, welche nicht mehr in das Innere zurückkehrt.

Neuere, sorgfältigere Untersuchungen haben ergeben, daß diese Vorstellung von dem Erfrieren der Pflanzen mehrfacher Berichtigungen bedarf. Zunächst insofern, als durch den Druck des im Inneren der Zellen gebildeten Eises kein Zerreißen und Zersprengen der Zellwände stattfindet. In den Geweben der von Luft umspülten Pflanzenteile beginnt die Eisebildung überhaupt nicht im Inneren der Zellkammern, sondern in den sogenannten Interzellularräumen, und nur in jenen Wasserpflanzen, welchen Interzellulargänge fehlen, wie z. B. in den Armleuchtergewächsen, bilden sich schon die ersten Eiskristalle im Inneren der Zellen.

Die zu den Armleuchtergewächsen gehörige *Nitella syncarpa*, welche im klaren Wasser der Tümpel und Teiche des mittleren Europa angetroffen wird, wird durch eine Temperatur von 0° in ihrer Lebenstätigkeit nicht gestört; sogar die Strömung des Protoplasmas in den Zellen ist noch eine sehr lebhaft. Auch wenn sich in dem umgebenden Wasser bei weiterer Abkühlung auf -2° Eiskristalle bilden, so ist die Strömung des Protoplasmas noch zu erkennen. Es werden zwar von den Eiskristallen die Zellen etwas zusammengedrückt, aber selbst bei -3° ist das Protoplasma noch nicht getötet. Erst zwischen -3° und -4° beginnt der Protoplast zu schrumpfen, gibt einen Teil seines Wassers ab, löst sich von der Innenwand der Zellkammer los, bildet in der Mitte der Zelle einen faltigen, zusammengezogenen Sack, und das ausgeschiedene Wasser erstarret zwischen diesem Sack und der Wand der Zellkammer zu Eis. Setzt man diese *Nitella* wieder einer höheren Temperatur aus, so schmilzt das Eis, das Protoplasma dehnt sich und legt sich der Zellwand an; aber es ist unfähig, wieder in strömende Bewegung überzugehen, es hat zu leben aufgehört, sein molekularer Aufbau wurde durch die Wasserausscheidung so gründlich verändert, daß eine Wiederherstellung nicht möglich ist.

In den Stengeln und Blättern der von Luft umgebenen Gewächse entsteht das erste Eis, wie schon oben bemerkt, immer in den Interzellulargängen. Da aber für gewöhnlich in den Interzellulargängen Luft und nicht Wasser enthalten ist, so muß das zu Eis erstarrende Wasser in die Interzellulargänge erst kurz vor dem Erstarren aus den angrenzenden Zellen ausgeschieden werden. Und das geschieht auch tatsächlich. Die Struktur der Eiskristalle läßt

deutlich erkennen, daß das Wasser durch die Zellwände hindurch nach außen gekommen ist, und zwar nicht auf einmal, sondern nach und nach; denn man sieht an den äußeren gegen den Interzellularraum sehenden Wänden der Zellen das Eis in Form kleiner, übereinander geschichteter und zu Säulen vereinigter Scheiben, welche sich nur allmählich eine nach der anderen gebildet haben konnten. Diese Beobachtung regt aber die Frage an: welche Teile der Zellen geben das Wasser ab, und warum erstarrt das Wasser in den Interzellularräumen und nicht an jenen Stellen, wo es sich vor dem Froste befunden hatte? Vor Beantwortung dieser Frage ist zunächst daran zu erinnern, daß das von den Pflanzen aufgenommene Wasser nur zum Teil in den chemischen Verband der Stoffe des Zellenleibes und der Zellhaut eingegangen ist, daß ein anderer Teil, welcher auf S. 154 Betriebswasser genannt wurde, nicht chemisch gebunden ist. Von diesem letzteren ist die Zellhaut und auch der Zellenleib durchtränkt, und auch der Zellsaft in der Leibeshöhle des Protoplasten enthält reichlich solches Wasser. Im Zellsaft erscheint es als Lösungsmittel der dort vorhandenen Säuren, Salze und anderen Stoffe. Ein anderer Teil des Wassers bildet aber einen zugehörigen Bestandteil des Protoplasmas, ohne welches die Form der Protoplasten so wenig beständig ist wie die des Kristalls, dem man das sogenannte Kristallwasser entzieht. So wie ein Salzkristall zerfällt, wenn man durch hohe Temperatur sein Kristallwasser entfernt, so zerfällt auch das Protoplasma durch den Wasserverlust bei einer Eisbildung.

Wenn ein Körper, welcher das Wasser in seinen feinsten Zwischenräumen festhält, wie etwa der Kleister, oder in dem das Wasser als Lösungsmittel erscheint, wie eine Maunlösung, bis zu dem Gefrierpunkte des Wassers abgekühlt wird, geschieht folgendes. Das Wasser erstarrt merkwürdigerweise nicht sofort zu Eis, solange es in den Interstitien zwischen Molekülgruppen oder als Lösungsmittel festgehalten wird, und viele Salzlösungen können bis auf 5° , manche sogar auf 10° unter Null abgekühlt werden, ohne zu gefrieren. Und wenn endlich unter dem Einflusse tieferer Temperaturen ein Erstarren stattfindet, so hat sich vorher eine Scheidung vollzogen; das Wasser ist aus den feinsten Zwischenräumen des Kleisters in größere Hohlräume desselben zusammengefloßen und ist erst in diesen Hohlräumen zu Eis erstarrt, und das Wasser der Salzlösungen hat sich von den Salzmolekülen getrennt und ist erst dann zu Eiskristallen geworden.

Ähnlich verhält es sich aber auch mit dem Wasser, welches die Zellhaut und das Protoplasma tränkt und als Lösungsmittel gewisser Inhaltsstoffe der Zelle dient. Bei einer Abkühlung der Pflanzengewebe auf -1° findet nur bei ganz wenigen Arten schon Eisbildung statt, und in den meisten Fällen muß die Temperatur auf -2° oder -4° sinken, damit sich in dem erkalteten Gewebe Eis bildet. Das Wasser hat sich, bevor es zu Eis erstarrte, von den Molekülen, durch die es bisher festgehalten war, gesondert, und es erstarrt nicht innerhalb der Zelle, sondern, indem es leicht durch die Zellhaut diffundiert, an deren Außenseite im Interzellularraum. Würde das Wasser schon bei geringen Kältegraden sofort im Inneren der Zellen zwischen den Molekülgruppen des lebendigen Zellenleibes und seiner Haut erstarren, so wäre auch eine gründliche Verschiebung und eine Zerstörung dieser Molekülgruppen unvermeidlich. Außerhalb der Zelle werden dagegen die Eiskristalle solche Zerstörungen nicht veranlassen. In den Interzellularräumen können sie umfangreiche Drusen bilden, es kann dadurch der Interzellularraum sogar erweitert, und es können die angrenzenden Gewebeteile auseinander gedrängt und zerklüftet, teilweise auch abgelöst und abgehoben werden, ohne daß aber gleichzeitig auch eine Zerstörung der Zellen selbst stattfindet.

Man war eine Zeitlang der Ansicht, daß das Gefrieren des Zellgewebes nicht immer den Tod der Pflanze herbeiführe. Man beobachtete nämlich, daß das Thermometer in einer kalten Nacht auf -1° bis -2° fallen konnte, und die Pflanzen am folgenden Tage nach dem Wiedererwärmen doch unbeschädigt erschienen. Andere Pflanzen fielen dagegen beim Steigen der Tageswärme zusammen und waren erfroren. Dies verschiedene Verhalten führte man auf langsames oder schnelleres Auftauen zurück, und man glaubte durch langsames Auftauen erfrorene Pflanzen retten zu können. Diese unrichtige Meinung, die auf ungenauer Beobachtung beruht, hört man Gärtner und Obstzüchter noch häufig vertreten.

Tatsache ist es, daß Pflanzen nur durch wirkliche Eisbildung im Gewebe erfrieren. Da aber die Zellflüssigkeit nicht aus Wasser, sondern aus konzentrierten Lösungen bestehen, so bildet sich in Pflanzengewebe kein Eis bei 0° , sondern erst bei Temperaturen, die mehrere Grade unter Null liegen. Das Thermometer kann also $1-2^{\circ}$ Kälte anzeigen, ohne daß die Pflanzen erfrieren, und es ist kein Wunder, daß sie bei langsamer Steigerung der Luftwärme völlig unverändert erscheinen. Es handelt sich dabei um kein langsames Auftauen, denn die Pflanzen waren gar nicht erfroren, sondern nur stark abgekühlt. Soll eine Pflanze erfrieren, so muß sie meist viel tiefer als 0° abgekühlt, sie muß überkältet, in manchen Fällen sogar auf -6° bis -8° gebracht werden, ehe sie erfriert.

Es steht zweifellos fest, daß die Pflanzen nur bei Eisbildung in den Geweben getötet werden. Damit ist aber der Vorgang der Tötung noch nicht aufgeklärt, denn es handelt sich um einen Eingriff in die Konstitution des Protoplasmas. Da wir von dessen Bau sehr wenig kennen, kann man nur Theorien über das Erfrieren aufstellen. Man hat angenommen, es handle sich bei der Eisbildung wesentlich um eine Wasserentziehung. Das könnte vielleicht bei Holzpflanzen der Fall sein. Wenn das in den Holzzellen vorhandene Quellungswasser der Zellwände gefriert, wird dem Holz das Wasser entzogen. Bei starken Nord- und Ostwinden verschwindet das daraus entstandene Eis langsam durch Verdunstung, und da in dem kalten Boden die Wurzeltätigkeit ganz ruht, findet kein Nachschub von Wasser von untenher statt. Infolgedessen wird das Holz immer wasserärmer und trocknet infolge des Frostes aus. Dadurch wird es aber chemisch und physikalisch so verändert, daß es die Fähigkeit, Wasser zu leiten, verliert, und wenn auch bei eintretendem Tauwetter die im Boden lebendig gebliebene Wurzel ihre Tätigkeit wieder beginnt, so leitet das Holz des Stammes das Wasser nicht mehr nach oben, die Knospen vertrocknen, und der Baum ist abgestorben. Das Erfrieren von Baumstämmen ist also eine etwas andere Erscheinung als das saftiger Pflanzen.

Beim Erfrieren saftiger Gewebe muß der Vorgang anders verlaufen. Hier handelt es sich im Gegensatz zum Holz um protoplasmaführende Zellen. Die bloße Wasserentziehung kann aber bei diesen nicht zur Erklärung des Frosttodes ausreichen, da die Plasmolyse ergibt, daß Protoplasten durch Entziehung des Wassers nicht absterben. Wahrscheinlicher ist es, daß durch das Ausfrieren von Wasser eine chemische Zersetzung des Protoplasmas eintritt.

Man kann sich diesen Vorgang folgendermaßen denken¹. Das Protoplasma ist eine zusammengesetzte Substanz, doch bilden Eiweißstoffe einen maßgebenden Bestandteil desselben. Der Aggregatzustand des Protoplasmas gleicht ganz dem einer zähen Flüssigkeit, aber es kann nicht angenommen werden, daß es eine bloße Eiweißlösung sei. Es läßt sich leicht feststellen, daß das Protoplasma reich an Salzen, namentlich an Kalziumphosphat ist, und es

¹ Vgl. Sanjen, „Flora“, 1889, S. 408.

scheint, daß die in Wasser unlöslichen Eiweißstoffe durch das Kalziumphosphat in dem gequollenen Zustand erhalten werden, der für das Protoplasma charakteristisch ist. Werden die Salze von den Eiweißstoffen des Protoplasmas getrennt, so werden sie in unlöslicher Form ausgefällt, das Protoplasma gerinnt und wird unbeweglich. Eine Trennung und kristallinische Ausfällung der Salze kann man bei vielen Pflanzen leicht herbeiführen, wenn man ihr Zellgewebe mit Alkohol behandelt; das Kalziumphosphat trennt sich dann vom Protoplasma und wird in Sphärökristallen abgetrennt. Man kann annehmen, daß durch die Eisbildung beim Erfrieren ebenfalls eine Trennung der Salze von den Eiweißkörpern des Protoplasmas stattfinden muß. Das Kalziumphosphat friert mit dem Wasser aus, und wenn es sich beim Auftauen wieder löst, so kann es sich nicht mehr mit den Eiweißkörpern vereinigen, vielmehr wirkt die konzentrierte Salzlösung auf die Eiweißstoffe so, daß sie gerinnen, d. h. in unlösliche Modifikation übergeführt werden. Damit ist aber das Protoplasma getötet.

Bei welchen Kältegraden das Gefrieren, und bei welchen das Erfrieren stattfindet, richtet sich zunächst nach der spezifischen Konstitution des Protoplasmas der verschiedenen Pflanzenarten, dann aber auch bei jeder einzelnen Art nach dem Entwicklungsstadium, in welchem sich die der Kälte ausgesetzten Organe befinden. Gleichwie das Wasser in verschiedenen Salzlösungen bei verschiedenen Temperaturen zu Eis erstarrt, zeigt auch das Protoplasma der einen Art ein von dem Protoplasma der anderen Art abweichendes Verhalten. Es wurde oben erwähnt, daß die Wasserpflanze *Nitella syncarpa* schon bei einer Temperatur von -4° erfriert. Andere Wasserpflanzen dagegen vertragen die größten Kältegrade, ohne daß ihr Protoplasma getötet wird. Die *Sphaerella nivalis*, welche die Rotfärbung des Schnees veranlaßt (vgl. S. 30), ist im arktischen Gebiete im Winter monatelang einer Temperatur von -20° ausgesetzt, ohne dadurch vernichtet zu werden. Dasselbe gilt von mehreren Arten der Gattungen *Epithemia*, *Navicula* und anderen Diatomazeen, welche mit der *Sphaerella nivalis* zusammen auf dem Firn der Gletscher lebend angetroffen werden. Einschaltungsweise darf hier wohl erwähnt werden, daß es auch Tiere gibt, die mit diesen einzelligen Pflanzen zusammen in der Eisregion leben und dort monatelang gefroren sind, ohne dadurch getötet zu werden. Die Nädertierchen spielen, sobald sie auftauen, wieder mit ihren Wimpern, die unter dem Namen Gletscherflöhe bekannten schwarzen Poduren machen ihre weiten Sprünge, und die scheffigen Spinnen schreiten mit ihren langen Beinen wieder über die von der Sonne beschienenen eisigen Gefilde, während andererseits die durch Winde auf dieselben Firnfelder verschlagenen Insekten durch den Frost in kurzer Zeit ihren Tod finden.

Ähnlich wie mit den Pflanzen der Firnregion verhält es sich mit jenen der tieferen Regionen. Gewächse, die sich äußerlich sehr ähnlich sehen, und die auch im anatomischen Bau große Übereinstimmung zeigen, können sich doch in Beziehung auf das Erfrieren ganz verschieden verhalten. Während die Pinie (*Pinus Pinea*) keinen Winterfrost verträgt, gedeiht die Zirbelkiefer (*Pinus Cembra*) noch in Gegenden, wo ihr Stamm und ihre nadelartigen Blätter wochenlang auf -20° erkaltet sind. Das Rhododendron *Ponticum* erfriert bei -2° , das Rhododendron *Laponicum* verträgt die strengste Kälte des nordischen Winters. Wenn man in einer kalten Herbstnacht das mit dicken, fleischigen Blättern ausgestattete *Sempervivum arboreum* aus dem Gewächshaus an einen Ort ins Freie stellt, wo die Temperatur auf -1° herabsinkt, so ist es unrettbar verloren, während die im Bau der fleischigen Blätter übereinstimmenden europäischen Dickblätter, z. B. *Sempervivum montanum* und *Wulfenii*, dieselbe und noch viel größere Kälte nicht nur eine Nacht, sondern viele Wochen

hindurch unbeschadet vertragen. Es gibt auch eine Menge zweijähriger und ausdauernder Pflanzen, die man nicht eigentlich als Dickblätter ansprechen kann, welche aber doch saftstrogende, glatte, äußerlich in keiner Weise gegen Wärmeverlust geschützte, im Herbst dem Boden auflagernde, rosettenförmig gruppierte Blätter ausbilden. Die Blätter dieser Rosetten sind in den Gegenden mit rauhem Winter, zumal dann, wenn wenig oder gar kein Schnee gefallen ist, der strengsten Kälte ausgesetzt, und die Temperatur des saftreichen Gewebes erniedrigt sich nicht selten bis auf -20° , ohne daß dadurch das Protoplasma getötet würde.

Besonders auffallend ist in dieser Beziehung das Löffelkraut (*Cochlearia officinalis*), von dem man erwarten möchte, daß seine saftreichen, glatten, dunkelgrünen Blätter schon nach dem ersten Reif erfrieren, während sie tatsächlich die größten Kältegrade ohne den geringsten Nachteil vertragen. Es gibt wenig Punkte der Erde, wo ein so strenges Winterklima herrscht wie am Strande von Pittekaj an der Nordküste von Sibirien, wo die Vega-Expedition im Jahre 1878/79 überwinterte. Die mittlere Temperatur des Novembers betrug $-16,6^{\circ}$, des Dezembers $-22,8$, des Januars $-25,1$, des Februars $-25,1$, des März $-21,6$, des Aprils $-18,9^{\circ}$. Das waren aber nur die Mittel; an vielen Tagen sank die Temperatur auf -30 und -40° herab, und einmal erreichte das Minimum sogar -46° . Auf der Kuppe eines ziemlich hohen Sandhügels, über welche fast ununterbrochen der eisige Nord- und Nordostwind hinwehte, wurde der Stock eines Löffelkrautes, nämlich der *Cochlearia fenestralis*, beobachtet. Dieser Stock hatte im Sommer 1878 zu blühen begonnen und auch teilweise Früchte ausgebildet. Als der Winter begann, war diese *Cochlearia* aber noch mit unreifen Früchten, mit Blüten und Blütenknospen und mit saftigen grünen Laubblättern besetzt, und man hätte erwarten sollen, daß die saftreichen, zarten Gewebe im Laufe des langen Winters und unter dem Einflusse der anhaltenden Kälte vollständig vernichtet werden würden. Im Sommer 1879 wuchs aber die Pflanze, deren Gewebe doch zweifellos längere Zeit hindurch auf -30° abgekühlt und gefroren waren, wieder weiter und setzte ihr Wachstum dort fort, wo es zu Anfang des Winters unterbrochen worden war, die Blätter funktionierten wieder wie im verflossenen Sommer, die Blütenknospen öffneten sich, und aus den Blattachsen sproßten neue Blütenstände hervor, ein Beweis, daß das Protoplasma dieser Pflanze selbst durch die Temperatur von -46° nicht getötet wurde.

Wenn die Myrten und Orangenbäume bei -2° bis -4° , Zypressen und Feigenbäume bei -7° bis -9° , Zentifolien bei -18° , die Weinreben bei -21° , Eichen und Buchen bei -25° , Pflaumen und Kirschen bei -31° und Apfel- und Birnbäume bei -33° erfrieren, so kann das nur aus der spezifischen Zusammensetzung des Protoplasmas erklärt werden, und man muß annehmen, daß der protoplasmatische Zellenleib in dem einen Falle bei dieser, in dem anderen Falle bei jener Temperatur in der früher angegebenen Weise zerstört wird. Bei manchen Pflanzen spielt auch die Länge der kalten Zeit eine Rolle. Im Gießener Botanischen Garten wurde beobachtet, daß immergrüne Holzpflanzen nur bis zu einer bestimmten Zeit die niedrigen Wintertemperaturen aushalten. Koniferen, Rhododendren und andere erfroren, wenn der Winter mit gleichbleibender Kälte sich viele Monate ausdehnte, während sie kürzere Zeit viel tiefere Temperaturen aushielten.

Es ist früher darauf hingewiesen worden, daß es auch von dem Entwicklungsstadium der Pflanzen abhängt, bei welcher Temperatur das Erfrieren stattfindet. Allgemein bekannt ist, daß die holzigen Stämme und Zweige, die Laub- und Blütenknospen und vor allem die Samen, wenn sie im Herbst wasserarm geworden sind, ganz außerordentlich tiefe Wintertemperaturen

ertragen. In Jakutsk und Werchojansk in Sibirien, wo die mittlere Temperatur des Januars $-42,8^{\circ}$ und -49° beträgt, und wo -62° und $-63,2^{\circ}$, die niedrigsten überhaupt auf der Erde bis jetzt beobachteten Temperaturen, notiert wurden, wo sich monatelang die Schattentemperatur nicht über -30° erhebt, finden sich noch zahlreiche Kräuter und Sträucher, deren oberirdische Teile wochenlang einer Kälte ausgesetzt sind, bei welcher das Quecksilber gefriert; ja, es gedeihen dort noch Birken- und Lärchenbäume (*Betula alba* und *Larix Sibirica*) im kräftigsten Wuchse, und es kann keinem Zweifel unterliegen, daß Holz und Knospen dieser Bäume alljährlich längere Zeit auf -30° erkalten, ohne dadurch zu erfrieren. Übrigens kühlt sich auch das Holz des Wacholders, der Fichten-, Kiefern- und Zirbenbäume in rauhen Lagen der mitteleuropäischen Hochgebirge im Winter regelmäßig auf -10° ab, und die immergrünen Nadeln dieser Gehölze erkalten tief unter den Gefrierpunkt des Wassers, ohne den geringsten Schaden zu erleiden. Desgleichen vertragen die in den Beeren- und Holzapfen der genannten Gehölze eingeschlossenen Samen die tiefsten Temperaturen ohne Nachteil, was um so bemerkenswerter ist, als diese Samen zweier Sommer zur Reife bedürfen und daher das erste Jahr in noch nicht ausgereiftem Zustande den strengen Winter durchmachen müssen. Auch bei anderen Pflanzen sind die Samen über Winter großer Kälte ausgesetzt. So fallen z. B. die Samen des Goldregens (*Cytisus Laburnum*) nicht sofort nach ihrer Reife ab, sondern bleiben an den Flächen der aufgesprungenen Hülsen haften, und da sich diese erst im nächsten Frühlinge von den Zweigen lösen, so sinkt die Temperatur dieser Samen über Winter tief unter Null herab. Nichtsdestoweniger behalten sie ihre Keimkraft. Goldregensamen, die im Winter wochenlang unter dem Einfluß einer Temperatur von -15° gestanden hatten, keimten im folgenden Sommer und hatten also durch die Kälte keinen Schaden gelitten. Auch andere Samen, selbst solche aus tropischen Gegenden, welche versuchsweise Temperaturen von -40° ausgesetzt wurden, hatten ihre Keimfähigkeit nicht verloren, und es war daher ihr Protoplasma selbst durch diese große Kälte nicht getötet worden.

Da anderseits bekannt ist, daß die noch nicht vollständig ausgereiften Früchte und Samen des Goldregens und noch mehr jene der tropischen Pflanzen schon bei Erniedrigung der Temperatur auf -2° erfrieren, so geht daraus hervor, daß die in verschiedenen Entwicklungsstadien befindlichen Teile derselben Pflanze in ungleicher Weise durch die Erniedrigung ihrer Temperatur unter den Gefrierpunkt angegriffen werden.

Für die Mehrzahl der Gewächse kann als Regel gelten, daß der Tod infolge des Frostes um so eher eintritt, je jünger und wasserreicher die betreffenden Gewebe sind. Das Laub der Buchen, Hainbuchen und sommergrünen Eichen welkt, schrumpft und vertrocknet im jugendlichen Zustande, wenn nur in einer einzigen Frühlingsnacht die Temperatur unter Null herabgesunken ist, während es im Herbst selbst durch wiederholte Fröste nicht getötet wird. Ja, selbst manche Alpenpflanzen, die, vollständig ausgewachsen, sehr niedere Temperaturen ohne Nachteil vertragen, können Schaden erleiden, wenn sie zur Zeit des kräftigsten Wachstumes von einem Frost überrascht werden. Als einmal Ende Juni auf den bereits schneefrei gewordenen Bergen bei Innsbruck in der Seehöhe von 2000 m die Temperatur auf -6° herabsank, wurden dadurch die jungen, eben erst hervorgesproßten und noch nicht vollständig ausgewachsenen Laubblätter der wimperhaarigen Alpenrose (*Rhododendron hirsutum*) vernichtet; sie bräunten sich und vertrockneten, während die alten ausgewachsenen, aus dem verflossenen Jahr an denselben Stöcken erhaltenen grünen Laubblätter durch diesen Frost keine Veränderung erfahren hatten.

Solche Erscheinungen lassen sich nur durch die Annahme erklären, daß in den jungen, noch nicht ausgewachsenen Pflanzenteilen die Trennung der Salze vom Protoplasma wegen seines größeren Wassergehaltes durch Eisbildung leichter erfolgt als in älteren Zellen.

An diese Erörterung knüpft sich naturgemäß die Frage, ob eine Pflanze bei Temperaturgraden erfrieren kann, welche über dem Gefrierpunkte des Wassers liegen. Von der Mehrzahl der Gärtner wird diese Frage im bejahenden Sinne beantwortet, und es wird dieser Ausspruch auf die Tatsache gegründet, daß tropische Ananasse, buntblättrige Coleus, Basilienkraut, Melonen, Tabak usw. selbst dann welken, verdorren und absterben, wenn sie nur eine einzige Nacht hindurch einer Temperatur von $+2^{\circ}$ ausgesetzt waren. Obschon aber diese Erscheinung mit dem Erfrieren große äußere Ähnlichkeit hat, kann man sie doch nicht Erfrieren nennen; denn die für das Erfrieren des lebendigen Protoplasmas bezeichnendsten Vorgänge, nämlich die Ausscheidung von Wasser aus dem Zellenleibe, das Erstarren dieses Wassers zu Eis und das Nichtzurückkehren dieses Wassers in den Zellenleib, kommen bei den Pflanzen, die unter dem Einflusse von Temperaturen über Null vernichtet werden, nicht zustande. Auf S. 273 ist bereits klargestellt worden, daß dieses sogenannte Erfrieren der Pflanzen bei Temperaturen über Null in Wirklichkeit ein Vertrocknen infolge des Mißverhältnisses zwischen der Transpiration aus den Blättern und der Aufnahme von Wasser durch die Wurzeln ist. Durch die Herabsetzung der Temperatur des Erdreiches wird die saugende Tätigkeit der Wurzeln so beschränkt, daß der Wasserverlust, den die oberirdischen Laubblätter durch die Ausdünstung erleiden, nicht mehr rechtzeitig ersetzt werden kann. Die Blätter werden dann schlaff, schrumpfen, vertrocknen, färben sich schwarz und sehen dann gerade so aus wie Blattgebilde, welche durch den Frost getötet wurden.

Daß hier wirklich nur die Herabsetzung der Temperatur des Erdreiches die Ursache des Absterbens ist, kann durch einen sehr einfachen Versuch gezeigt werden. Wenn man im Herbst, zu einer Zeit, in der die Temperatur der Luft und des Bodens über Nacht bis auf $+1^{\circ}$ oder $+2^{\circ}$ herabsinkt, „sehr empfindliche“, in Töpfen kultivierte Coleus aus dem warmen Gewächshaus ins Freie stellt, ohne die Töpfe gegen Abkühlung zu schützen, so verdorren diese Pflanzen schon am folgenden Tage; wenn man dagegen die Töpfe in warme Sägespäne einsetzt, darüber Baumwolle breitet und so dafür sorgt, daß die Temperatur der Erde in den Töpfen sich über $+7^{\circ}$ erhält, so vertrocknen die in den Töpfen kultivierten Coleus nicht und leiden überhaupt keinen Schaden, selbst dann nicht, wenn die Temperatur der Luft und der von Luft umspülten Blätter im Laufe der Nacht bis $+0,5^{\circ}$ fallen sollte. Indem durch Warmhalten des Bodens die Zuleitung von Wasser zu den transpirierenden Blättern im Gange gehalten wird, können also diese Blätter selbst bei einem Herabsinken der Lufttemperatur auf $+0,5^{\circ}$ vor dem sogenannten „Erfrieren“ geschützt werden. Im Frühjahr erfrieren gelegentlich, zumal kultivierte Pflanzen mit grünen zarten Blättern, schon bei einer Temperatur von 0° oder -1° , die sonst noch nicht gefährlich werden kann. Die Ursache ist in diesem Falle, daß bei klarem Nachthimmel die Blattflächen sich durch starke Ausstrahlung beträchtlich unter die nächtliche Lufttemperatur abgekühlt haben, was so weit gehen kann, daß Eisbildung in den Geweben stattfindet. Es ist bekannt, daß man solche Pflanzen durch nächtliches Bedecken mit Körben oder dergleichen schützen kann, da die Schutzdecke die Ausstrahlung und die damit verbundene stärkere Abkühlung verhindert.

Gibt es auch Mittel, wodurch die Pflanzen vor dem wirklichen Erfrieren geschützt werden können? Die Antwort auf diese Frage ergibt sich aus den obigen

Erörterungen über das Wesen des Erfrierens von selbst. Kann man verhindern, daß die in Frage kommende Pflanze jene Temperatur annimmt, bei welcher ihr Protoplasma getötet wird, so kann dadurch allerdings ein Schutz gegen das Erfrieren geboten werden. Gewöhnlich werden als Schutzmittel schlechte Wärmeleiter benutzt. Man umkleidet die zu schützenden Pflanzenteile mit trockenem Stroh und Reisig oder bedeckt sie mit dürrem Laub. In Gegenden mit kontinentalem Klima sichert man die Weinrebe dadurch vor dem Erfrieren, daß man die unteren Teile der Stöcke mit Erde umgibt. Vielfach werden die Pflanzen auch durch Aufhäufen von Schnee geschützt, und dieser gilt bei den Gärtnern ganz allgemein als ein treffliches Schutzmittel gegen das Erfrieren. Erfahrungsgemäß gehen in der nördlich gemäßigten Zone in schneelosen Wintern eine Menge Pflanzen zugrunde, während sie in schneereichen Wintern die kälteste Zeit ohne Nachteil überdauern. Manche Arten von Gesträuchen und niederen Bäumchen, von denen nur die untere Hälfte eingeschneit ist, während die obere Hälfte den Schnee überragt, findet man nach strengen Wintern von den Zweigspitzen abwärts bis zu jener Stelle erfroren, zu welcher der Schnee emporgereicht hatte. So verhielt es sich z. B. im Wiener Botanischen Garten (1880) mit mehreren Bäumchen der Himalajazeder (*Cedrus Deodara*), mit *Fontanesia jasminoides* und *Diospyros Lotus* und mit den Gesträuchen mehrerer Jasmin- und Indigo-Arten. Aber alle diese Schutzmittel, Reisig, Stroh, Laub, Erde, Schnee, erfüllen ihren Zweck nur in Gegenden, wo die Kälteperiode von verhältnismäßig kurzer Dauer ist. Sie wehren eigentlich nur den ersten Ansturm der Kälte ab, und ihr wesentlichster Vorteil liegt darin, daß die Ausstrahlung der Wärme aus den eingehüllten Teilen hintangehalten wird. Bei langer und ununterbrochen andauernder Kälte sinkt allmählich nicht nur die Temperatur der Hülle, sondern endlich auch jene der umhüllten Körper tief herab, und in Jakutsk würde eine Pflanze, deren Protoplasma bei -10° getötet wird, selbst durch die dickste Hülle aus Stroh, Laub oder Erde nicht mehr geschützt werden können.

Auch in der freien Natur kann von einem natürlichen Schutze gegen das Erfrieren nur bedingt und nur in jenen Gegenden die Rede sein, wo im Laufe des Winters Perioden großer Kälte mit milderer Zeiten abwechseln, und wo der kalten Nacht in der Regel wieder ein wärmerer Tag folgt, was überall der Fall ist, wo die Sonne im Winter nicht wochen-, ja selbst monatelang unter dem Horizont bleibt. Alle Hüllen, die in den gemäßigten Zonen vor dem Erfrieren schützen, sind darum im arktischen Gebiete wertlos. Nicht einmal der Schnee, der, wie schon erwähnt, in der nördlich gemäßigten Zone als eines der besten Schutzmittel gegen große Kälte gilt, vermag im arktischen Gebiete das Eindringen der Kälte zu verhindern. Kane fand die Temperatur im nordwestlichen Grönland bei 63 cm unter der Schneeoberfläche auf $-21,3^{\circ}$ und in 126 cm Tiefe auf $-16,3^{\circ}$ gesunken. Die Untersuchungen, die während der Überwinterung der schwedischen Polarexpedition in der Mosselbai an der nördlichen Küste von Spitzbergen angestellt wurden, ergaben, daß am 14. Februar 1873 bei einer Lufttemperatur von -35° der Schnee 26 cm unter der Oberfläche auf -26° und in einer Tiefe von 35 cm auf -20° gesunken war. Am 23. Februar zeigte der Schnee in einer Tiefe von 30 cm die Temperatur -21° bei gleichzeitiger Lufttemperatur von -32° . Von der Vega-Expedition wurde an der nord-sibirischen Küste am 22. März bei einer Lufttemperatur von $-18,2^{\circ}$ der Schnee in einer Tiefe von 30 cm auf $-16,1^{\circ}$ und der darunterliegende Erdboden auf $-15,1^{\circ}$ erkaltet gefunden. Mitte März zeigte der von den Wurzeln des nordischen Dünengrases (*Elymus mollis*) durchzogene Sandboden in der Tiefe von 63 cm die Temperatur von -20° .

In der nördlich gemäßigten Zone ist das wesentlich anders. Wo die Sonne, wenn auch nur während einiger Stunden des Tages, auf den Schnee einwirkt, wird dieser erwärmt und häufig oberflächlich geschmolzen. Man kann in den Alpen zur Zeit der kürzesten Tage im Dezember bei einer Schattentemperatur der Luft von -10 bis -15° von den besonnten Dächern der hoch oben an den Berghängen gelegenen Heuhütten in der Mittagsstunde das Schmelzwasser herabträufeln sehen. Auf dem Matterhorn beobachteten die drei Schweizer, welche sich entschlossen hatten, zum Behufe meteorologischer Beobachtungen den Winter 1865 auf 1866 in dem 3333 m hoch gelegenen Stationshause zuzubringen, am 18. Dezember 1865 und an mehreren anderen Tagen, daß in der Sonne der Schnee geschmolzen war. Sinkt die Sonne hinter den Bergen hinab, so friert das Schmelzwasser allerdings wieder zu Eis, aber am nächsten Tage wiederholt sich das gleiche Spiel. Während im arktischen Gebiete der in der monatelangen ununterbrochenen Winternacht gefallene Schnee staubartig bleibt, bildet sich in den Gebirgen der gemäßigten Zone infolge des Schmelzens der oberflächlichen Schneeschicht unter dem Einflusse der Sonnenstrahlen und des darauf folgenden Gefrierens in den Nächten eine Eiskruste, die mit der Zeit so mächtig wird, daß man weite Strecken der Schneefilde überschreiten kann, ohne einzubrechen.

Dieser Wechsel von Austauen und Erstarren in den oberen Schichten der winterlichen Schneedecke hat nun den wichtigen Vorteil, daß in den Gegenden, wo im Winter die Sonne scheint, die tieferen Schneeschichten und der den Schnee tragende feste Erdboden niemals so stark erkalten wie im hohen Norden, wo monatelang die Erkaltung fortschreiten kann und, wie die oben angegebenen Zahlen zeigen, auch tatsächlich fortschreitet. Es wird dies durch die in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellten, in den Tiroler Zentralalpen an Minimumthermometern abgelesenen Wintertemperaturen des Bodens bestätigt.

Wintertemperaturen des Bodens in den Zentralalpen Tirols.

Ort der Beobachtung	Exposition	Seehöhe	Tiefe des Bodens	Höhe der überlagernden Schneeschicht	Temperatur
Patscherkofel bei Innsbruck	W.	1921 m	65 cm	100 cm	0,1
Gehänge des Blasers bei Trins	S.	2086 m	40 cm	40 cm	0,2
Gehänge des Habichts im Schnitztale	S.	2100 m	70 cm	100 cm	-0,5
Kuppe des Blasers bei Trins	S.	2239 m	40 cm	30 cm	0,1
Gehänge des Habichts im Schnitztale	S.	2700 m	70 cm	50 cm	-4,7
Gehänge des Habichts im Schnitztale	S.	3000 m	70 cm	50 cm	-7,6
Heiligwasser bei Innsbruck	N.	1261 m	75 cm	200 cm	1,35
Gehänge des Patscherkofels bei Innsbruck	N.	1635 m	60 cm	60 cm	-2,9
Weißspitz im Schnitztale	N.	2100 m	70 cm	50 cm	-5,0
Kuppe des Blasers bei Trins	N.	2239 m	40 cm	50 cm	-4,0
Gafelekar bei Innsbruck	N.	2343 m	40 cm	30 cm	-5,3
Weißspitz im Schnitztale	N.	2400 m	70 cm	50 cm	-7,3
Weißspitz im Schnitztale	N.	2700 m	70 cm	50 cm	-9,3
Weißspitz im Schnitztale	N.	3000 m	70 cm	50 cm	-12,0

Während die Temperatur des von Pflanzenwurzeln durchsetzten Bodens am Winterstandplatze der Vega in Sibirien selbst unter tiefem Schnee auf -10° herabsank, war das von Pflanzenwurzeln durchzogene Erdreich auf den Alpenhöhen Tirols in der Seehöhe von

1000 m an den schneereichen Stellen nicht einmal gefroren und in der Seehöhe von 3000 m, in der nur noch wenige Pflanzenarten fortkommen, sank unter einer Schneedecke von ungefähr einem halben Meter die Temperatur des Bodens nicht unter -12° . Daraus läßt sich aber auch der Schluß ziehen, daß die Schneedecke in den Alpen und überhaupt in den Hochgebirgen der nördlich gemäßigten Zone ein besseres Schutzmittel gegen das Eindringen der Kälte in den Boden ist als in der Arktis, und daß insofern auch die Pflanzen auf den Alpenhöhen durch die Schneedecke verhältnismäßig besser geschützt sind als im hohen Norden, wo der Schnee monatelang der Besonnung entbehrt.

Es gibt in der alpinen Region auch Pflanzen, welche augenscheinlich auf dieses Schutzmittel angewiesen sind, und deren Bau es möglich macht, daß sie den strengen Winter, unter mächtigen Schneemassen geborgen, überdauern. Dahin gehören in erster Linie zahlreiche strauchartige Holzgewächse, für die als Beispiel die auf S. 471 abgebildete Legföhre *Pinus humilis* gelten kann. Die Stämme dieser Föhre sind nicht aufrecht wie die der meisten anderen *Pinus*-Arten, sondern nehmen eine horizontale Lage an, und zwar auch dann, wenn sie eine bedeutende Dicke erreichen. Selbst Stämme im Durchmesser von 20 cm, welche unbedingt imstande wären, in aufrechter Stellung die breitästige Krone zu tragen, wachsen in nahezu paralleler Richtung zum Boden, ohne ihm übrigens unmittelbar aufgelagert zu sein. Dabei ist bemerkenswert, daß an den geneigten Gehängen der Berge das fortwachsende Ende des Stammes immer talwärts gerichtet ist, und ebenso ist hervorzuheben, daß diese eigentümliche Wachstumsweise nicht nur den in den Alpen wild wachsenden, sondern auch den in botanischen Gärten der Niederungen kultivierten, aus Samen gezogenen Legföhren zukommt und daher als eine spezifische Eigentümlichkeit zu gelten hat. Die Äste und Zweige, die sich von dem Hauptstamme bogenförmig aufsteigend erheben, sind ungemein elastisch und legen sich, wenn sie belastet werden, dem Boden an. Da alle Äste der Krone von dem liegenden Hauptstamm aus nach oben gewendet sind, so tritt hier eine Häufung der Äste und Zweige ein, und in manchen alten Legföhrenbeständen sind die vielen Äste so dicht gestellt und so mannigfaltig verchränkt, daß dort ein Fortkommen fast unmöglich ist. Die ausgedehnten Legföhrenbestände sind darum auch gemieden und vereinsamt, und in manche derselben ist wohl, solange sie bestehen, noch keines Menschen Fuß eingedrungen. Wehe auch demjenigen, der das Unglück hat, sich in einem solchen Gehölze zu verirren. Die Schwierigkeiten, mit denen man sich in einem tropischen, von Lianen durchsetzten Urwalde Bahn brechen muß, sind nicht größer als jene, mit welchen man hier beim Vorwärtsdringen zu kämpfen hat. Häufig werden die Legföhren so hoch, daß man selbst aufrecht stehend noch um einige Kopflängen von den obersten, mit Nadeln dicht besetzten Zweigen überragt wird. Man mag wohl, über die querliegenden armsdicken Stämme kletternd, eine Strecke vorwärtskommen, verzweigs aber sucht man sich dann weiter zu orientieren und einen Ausblick zu gewinnen. Betritt man einen der bogenförmig aufsteigenden Äste, um über das oberste Zweigwerk hinauszusehen, so beugt sich derselbe mitsamt dem Stamme, dem er entspringt, unter der Last des Körpers zur Erde nieder, und man versinkt wieder in das Meer der dunkelgrünen Legföhrenkronen. Ein solches Niederbeugen erfolgt aber auch unter der Last des Winterschnees; ja, die sich häufenden Schneemassen drücken dermaßen auf die bogenförmig aufsteigenden elastischen Äste, daß selbst die obersten mit Nadeln besetzten Verzweigungen platt auf die Erde zu liegen kommen. Wenn sich dann über die gewöhnliche Schneelage allenfalls auch noch der Schnee von Grundlawinen ausbreitet, so verstärkt sich der Druck so gewaltig, daß die benadelten

Zweige dem Boden angepreßt werden. Das kann so weit gehen, daß selbst manche Zweigspitzen, die im Sommer 1 m hoch über dem Erdboden standen, im Winter zufolge des Schneedrucks dem Erdboden unmittelbar aufliegen. Schmilzt dann im kommenden Frühling der Schnee ab, und werden die Äste und Zweige allmählich entlastet, so heben sich diese vermöge ihrer außerordentlichen Elastizität empor und nehmen wieder jene Lage an, die sie im verflossenen Sommer besaßen. Es erinnert dieser Vorgang, der sich hier von selbst vollzieht, lebhaft an die Manipulationen der Gärtner, welche die Rosenbäumchen im Herbst auf die Erde niederbeugen, mit einem schlechten Wärmeleiter bedecken, in dieser Lage den ganzen Winter über erhalten und erst im nächsten Frühling wieder emporheben und an aufrechten Pfählen anbinden. Häufig sieht man im Sommer an den mehr als 1 m hoch über dem Erdboden schwebenden Enden der Legföhrenzweige die alten Nadeln mit Erde und kleinen Steinchen verklebt, und wer von den oben geschilderten Vorgängen keine Kenntnis hat, begreift nicht recht, wie diese kleinen Steinchen an die Zweigenden gekommen sind. Tatsächlich bildet die vom Schmelzwasser durchfeuchtete lehmige Erde, der die Zweige über Winter aufliegen, das Klebemittel, und dasselbe ist so wirksam, daß selbst Steinchen von mehr als 1 cm Durchmesser den alten Nadelbüscheln anhaften. Ähnlich wie die Legföhren verhalten sich auch noch mehrere andere alpine Sträucher, wie z. B. der Zwergwacholder (*Juniperus nana*) und die Alpenerle (*Alnus viridis*). Auch die Alpenrosengebüsche werden, wenn auch nicht so stark, durch den Schnee gegen den Boden gedrückt und sind dort gegen große Kälte und insbesondere gegen starke Ausstrahlung gesichert.

In der Waldregion erscheint als ein treffliches Schutzmittel häufig auch das dürre Laub, das von den Bäumen fällt und sich über den Boden und die niederen Gewächse ausbreitet. Am mächtigsten ist diese Laubschicht in den mitteleuropäischen Buchenwäldern. Die von ihr eingehüllten Stöcke des Waldmeisters, des Lungenkrautes, des Leberblümchens, der Haselwurz, des Sanikels und der Waldsteinie (*Asperula odorata*, *Pulmonaria officinalis*, *Hepatica triloba*, *Asarum Europaeum*, *Sanicula Europaea* und *Waldsteinia geoides*) erhalten sich darunter selbst in sehr strengen Wintern, ohne zu erfrieren, mit grünen Blättern bis in den nächsten Frühling.

Wieder andere Pflanzenarten erscheinen dadurch gegen große Kältegrade geschützt, daß sie sich den Winter hindurch sozusagen unter die Erde zurückziehen. Zahlreiche Zwiebel- und Knollengewächse erzeugen mit ihren oberirdischen grünen Blättern in den warmen Sonnenstrahlen des Sommers organische Verbindungen, leiten diese aber sofort in die Tiefe zu den unterirdischen Teilen des Stoces. Dort werden aus den zugeführten Stoffen dicke Stengel und Knollen, fleischige, schuppenförmige Niederblätter und auch die Anlagen für neue Laubblätter und Blüten erzeugt, welche aber in demselben Jahre nicht mehr oberirdisch hervorkommen. Über Winter bleiben diese Gebilde in der Erde begraben und sind dort so wie die Wurzeln gegen zu weit gehende Erkaltung geschützt. Erst nach Ablauf der Frostperiode wachsen dann die schon im verflossenen Jahr angelegten Blütenstengel und Laubblätter empor, um zu ergrünen, zu blühen, zu fruchten und im Sonnenlichte neuerdings organische Stoffe für unterirdische Zwiebeln, Knollen und Wurzelstöcke zu bilden. Es ist interessant, zu sehen, daß Zwiebeln und Knollen desto tiefer in der Erde stecken, je mehr der Standort der Ausstrahlung und Erkaltung ausgesetzt ist, je mehr die Gefahr droht, daß im Winter nur eine leichte Schneelage den Boden bedeckt, und je größer die Wahrscheinlichkeit ist, daß selbst diese von Stürmen weggefegt wird. Während beispielsweise die Zwiebeln und Knollen

Reisbäume im Tiroler Gophgebirge. (Zu S. 460.)



des Gelbsterne und der Hohlwurz (*Gagea lutea* und *Corydalis cava*), wenn sie im schwarzen Humus der Buchenwälder unter dürrer Laube wachsen, nur wenige Zentimeter tief unter der Oberfläche liegen, sind sie auf offenen Wiesen erst in drei- bis vierfach größerer Tiefe zu erreichen. Die Lage der Knollen der Zeitlose (*Colchicum autumnale*) kann geradezu als ein Anhaltspunkt gelten, um zu bestimmen, wie tief in einer bestimmten Gegend der Boden einfriert; denn regelmäßig erscheinen diese in Tiefen eingebettet, zu denen der Frost des Winters nicht mehr vordringt.

Auch an Wasserpflanzen wird ähnliches beobachtet. In den stehenden Gewässern der Tümpel und Teiche findet tatsächlich ein Zurückziehen der Pflanzen vor der andringenden Kälte des Winters, eine förmliche Flucht in die Tiefe statt. Die Stöcke der Wasserschere (*Stratiotes aloides*), einer Wasserpflanze, die, wie schon ihr lateinischer Name sagt, einer Aloe nicht unähnlich sieht, erhalten sich im Frühling und Frühsommer schwebend nahe der Oberfläche im Wasser. Sie erzeugen dort neue schwertförmige Blätter und entwickeln Blüten, die über die Oberfläche des Wassers emportauchen. Nachdem die Blütezeit vorüber ist, sinkt die Pflanze in die Tiefe, um hier ihre Früchte und Samen auszureifen und Knospen für neue Tochterpflanzen anzulegen. Etwa um das Ende des Augustmonats hebt sie sich wieder in die obersten Wasserschichten empor. Die inzwischen heran- gewachsenen Tochterpflanzen gleichen bis auf die geringere Größe ganz der Mutterpflanze; sie haben sich aus den Knospen am Ende verlängerter, zwischen den Rosettenblättern hervorgehobener Langtriebe entwickelt und umgeben jetzt, wie die Küchlein die Henne, die stattliche Mutterpflanze. Im Laufe des Herbstes faulen nun die Sprosse, durch welche die Tochterpflanzen mit der Mutterpflanze bisher in Verbindung waren, ab, und alle isolierten Rosetten sowie die Mutterpflanze selbst sinken neuerdings in den Teichgrund hinab. An Stellen, wo es kaum jemals zum Frieren kommt, überwintern sie und kommen erst wieder im nächsten Frühling zur Oberfläche. Das krausblättrige Laichkraut (*Potamogeton crispus*; s. Abbildung, S. 473) entwickelt im Spätherbst nahe dem Wasserpiegel Sprosse, die mit kurzen Blättern besetzt sind, und bevor noch die oberste Wasserschicht gefriert, lösen sich diese Sprosse von dem alten Stengel ab, sinken in die Tiefe und bohren sich dort mit dem spitzen unteren Ende in den Schlamm ein. Da unten kommt es wohl niemals zur Eisbildung, und die Sprosse sind in ihrem Winterquartier gegen die Nachteile der großen Kälte trefflich geschützt.

Für Bäume und Sträucher, deren Stämme nicht wie jene der Legföhren über den Boden hingestreckt sind, sondern Säulen gleich von der Erde emporwachsen, und deren Kronen mächtige Schneeablagerungen noch weit überragen, kommt die Bedeckung des Bodens mit Schnee, wie die Einhüllung mit Erde und Laub weniger in Betracht. Bei vielen von ihnen löst sich das Laub, das unter dem Einflusse der winterlichen Kälte Schaden leiden würde, in der schon früher geschilderten Weise (vgl. S. 273) von den Zweigen ab, nachdem vorher alles, was in diesem Laube von brauchbaren Stoffen noch vorhanden war, in die Stämme abgeleitet wurde. Die entblätterten Zweige sowie die Knospen für das nächste Jahr bleiben nun freilich oberirdisch zurück, sind dort der Winterkälte ausgesetzt und sollen befähigt sein, diese ohne Nachteil zu ertragen. Im Vergleich zu dem abgeworfenen Laube sind die Zweige mit einer viel derberen Rorkschicht bedeckt, und es macht den Eindruck, als ob eine solche Hautschicht die von ihr überkleideten Teile gegen Kälte auch besser schützen könnte, als es die Oberhaut der Laubblätter vermocht hätte. Für eine sehr kurze Kälteperiode mag das auch der Fall sein, für längere Zeit ist aber selbst die dickste Haut nicht imstande, die Erkaltung

der überkleideten Teile hintanzuhalten, so wenig wie die Borke an älteren Ästen und Stämmen. In lange andauernden Wintern mit ununterbrochener strenger Kälte nimmt auch das Innere der Zweige und Stämme die Temperatur der Umgebung an, und es hängt lediglich von der Widerstandsfähigkeit des Protoplasmas ab, ob die eintretende Erkaltung tödlich wirkt oder nicht. Aus verschiedenen Erscheinungen mag man den Schluß ziehen, daß diese Widerstandsfähigkeit desto größer ist, je mehr das Protoplasma in den Zellen der Zweige und Stämme Gelegenheit fand, sich im Sommer und Herbst entsprechend



Ablösung der zur Überwinterung unter Wasser bestimmten Sprosse des krausblättrigen Reichtrautes (*Potamogeton crispus*). (Zu S. 472.)

vorzubereiten. War der Sommer warm und der Herbst mild, wurde der Eintritt der ersten Fröste sehr hinausgeschoben, und fand die Pflanze Zeit, sich für den Winter vorzubereiten und langsam einzupuppen, so erfrieren die Zweige nicht; war der Sommer kalt und naß, traten schon zeitig im Herbst Fröste ein, konnte das Betriebswasser nicht rechtzeitig entfernt werden, ist das Holz, wie die Gärtner sagen, noch nicht ausgereift, so kann ein halbwegs strenger Winter den Tod der holzigen Zweige im Gefolge haben, derselben Zweige, von denen vielleicht frühere viel strengere Winter ohne Nachteil überstanden wurden.

Immer wieder kommt man demnach darauf zurück, daß das Erfrieren oder Nichterfrieren einer Pflanze davon abhängt, ob der Zustand des Protoplasmas ein solcher ist, daß infolge der eintretenden Abkühlung sein molekularer Aufbau dauernd zerstört wird oder nicht, und daß eigentlich der wirksamste Schutz in der Konstitution des Protoplasmas selbst gesucht werden muß.

6. Die Schutzmittel der Pflanzen gegen Wärmeverlust.

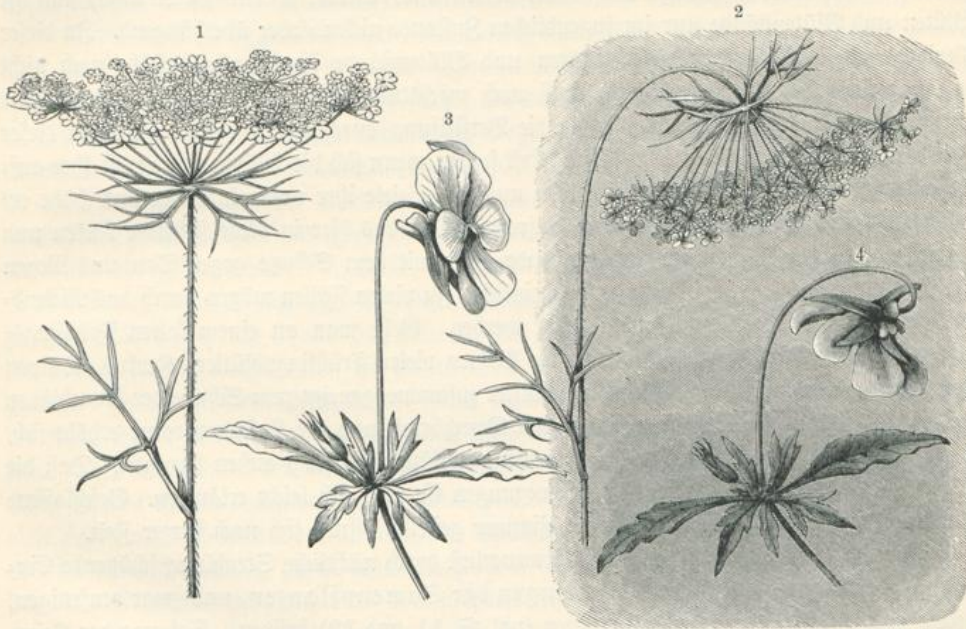
Wenn es für die Pflanzen wichtig ist, daß ihnen die Wärme in einem günstigen Maße zukommt, so ist auch zu erwarten, daß es weder an Einrichtungen fehlt, die gegen ein Übermaß von Wärme schützen, ebenso wie auch Vorforge getroffen ist, damit die einmal gewonnene Wärme nicht wieder verloren geht. Es würde der Ökonomie der Pflanze nicht entsprechen, wenn ein an der Sonne stehender Pflanzenstock alle Wärme, die er im Laufe des Tages gewonnen hat, in der darauffolgenden Nacht durch Ausstrahlung wieder einbüßen müßte. Das Wachstum erfolgt bekanntlich auch im Laufe der Nacht, ja, manche Pflanzenteile wachsen sogar in der Nacht mehr als am Tag, und es würde für sie ein zu weit gehender Wärmeverlust in der Nacht von entschiedenstem Nachteil sein, da die Temperatur dann unter das Mindestmaß für gewisse Lebensvorgänge sinken könnte.

In der That fehlt es nicht an Einrichtungen, die dazu dienen, die Pflanzen vor einem zu weit gehenden Verluste der einmal gewonnenen Wärme zu schützen. Insoweit dieselben mit den Einrichtungen zusammenfallen, welche die Transpiration der Pflanzen regeln, wurden sie bereits an der betreffenden Stelle (S. 222) gewürdigt. Diejenigen Ausbildungen aber, die als Schutzmittel gegen die Gefahren eines übermäßigen Wärmeverlustes durch Ausstrahlung Interesse beanspruchen, und bei welchen die Beziehungen zur Transpiration gar nicht oder doch nur in zweiter Linie hervortreten, sind im nachfolgenden übersichtlich zusammengestellt.

Zunächst ist in dieser Beziehung der Blüten zu gedenken, die verhältnismäßig sehr rasch wachsen, deren Teile dabei viel Wärme beanspruchen, für die aber manche Einrichtungen, die bei Laubblättern am Platze sein mögen, als Schutzmittel gegen Wärmeverlust nicht gut passen, weil dadurch andere den Blüten gestellte Aufgaben eine Beeinträchtigung erfahren würden. Und doch bedürfen gerade die Blüten eines ausgiebigen Schutzes gegen Wärmeverlust. Eine Hemmung des Wachstums der Blumenblätter, eine Störung der Entwicklung des Pollens in den Pollenblättern, eine Verhinderung der Honigausscheidung usw. könnte nur zu leicht die Befruchtung und Fruchtbildung zurückhalten, und die ganze Jahresarbeit der betreffenden Pflanze wäre dann sozusagen umsonst geleistet. Nun entwickeln sich aber gerade an jenen Stellen, die tagsüber besonnt sind, wo aber in der Nacht durch Strahlung viel Wärme verloren geht, das ist an offenen, nicht beschatteten Plätzen, die meisten Blüten, und dort ist auch die Gefahr vorhanden, daß die Blüten und Blütenknospen jene Wärme, die sie im Laufe des Tages gewonnen haben, im Laufe der Nacht wieder einbüßen. Um das zu vermeiden, sind in vielen Fällen die Blütenknospen und auch die geöffneten Blüten hängend, glockenförmig und röhrenförmig, oder es wölben sich Blätter in Gestalt eines Helmes, einer Kapuze oder eines Schirmes über die Staubgefäße und Fruchtknoten, wodurch dann die genannten inneren Teile der Blüte wie in einer Nische oder Höhlung geborgen sind. In diesen verborgenen Winkeln sind sie gegen Wärmeverlust verhältnismäßig gut geschützt, und es findet wenigstens eine Ausstrahlung der Wärme gegen den Nachthimmel von diesen Teilen nicht statt. Nur die Hüllen, die sich über sie als schützendes Dach ausspannen, verlieren während der Nacht einen großen Teil der tagsüber gewonnenen Wärme; diese werden aber dadurch nicht so sehr gefährdet, sie haben bereits ihre normale Größe erreicht und bedürfen der Wärme nicht zum weiteren Wachstum, auch sind sie häufig mit luftgefüllten Haarbildungen bekleidet, mit trockenem, häutigem Saum umgeben oder ganz in trockene, pergament- oder papierartige

Schuppen umgewandelt, in welchem Falle sie infolge des Wärmeverlustes keinen weiteren Schaden erleiden können. Die Luft in den überhängenden Glockenblumen ist selbst am Morgen vor Sonnenaufgang noch um 1—2 Grad wärmer als die Temperatur der umgebenden Luft (vgl. S. 436), sie erhält sich hier, wie unter einer Sturzglocke abgesperrt, ziemlich unverändert die Nacht hindurch, was jedenfalls den dort geborgenen wärmebedürftigen Antheren, Narben und Honigbehältern zugute kommt.

In vielen Fällen nehmen die Blütenknospen und jungen Blüten nur periodisch eine umgekehrte Lage an. Besonders auffallend sind in dieser Beziehung mehrere Doldenpflanzen,



Periodisches Nickenwerden der Blüten und Blütenstände: 1 die Dolbe der Möhre in der Tagstellung, 2 dieselbe Dolbe in der Nachtstellung; 3 die Blüte des Stiefmütterchens in der Tagstellung, 4 dieselbe Blüte in der Nachtstellung.

wie z. B. die Sicheldolbe und die Möhre (*Falcaria Rivini* und *Daucus Carota*). Kaum ist die Sonne hinabgesunken, so biegen sich an diesen Arten die Stengel, welche junge Blüten dolden tragen, hakenförmig um, so daß die Blütenknospen, die tagsüber der Sonne zugewendet waren, jetzt gegen die Erde sehen und die fein zerspalteten Hüllblätter sich wie ein Schirm über der nickenden Dolbe ausbreiten. Diese fein gespalteten Hüllen strahlen in der Nacht Wärme aus, ohne Nachteil zu erleiden, die unter ihnen befindlichen Blütenknospen dagegen sind in der geschilderten Weise gegen die für sie verderbliche nächtliche Strahlung geschützt, und es bleibt ihnen die am Tage aufgenommene Wärme wenn auch nicht vollständig, so doch größtenteils erhalten. Mit dem nächsten Sonnenaufgange heben sich die jungen Dolden rasch empor; die hakenförmigen Stiele der Dolden richten sich straff auf, und die Blütenknospen sind wieder der Sonne ausgesetzt, wie das an der oben eingeschalteten Abbildung der gemeinen Möhre (*Daucus Carota*), Fig. 1 und 2, zu sehen ist. Später, wenn einmal die Befruchtung stattgefunden hat und die jungen Früchte sich ausbilden, ist die Notwendigkeit, die Staubgefäße und Narben gegen Ausstrahlung zu schützen, nicht mehr vorhanden,

und dann unterbleibt auch das periodische Nickenwerden der Dolden bei hereinbrechendem Abend. Ähnlich wie die genannten Doldenpflanzen verhalten sich auch die jungen Blütenköpfechen mehrerer Skabiosen (z. B. *Scabiosa lucida* und *Columbaria*) und die einzelnen Blüten des Stiefmütterchens (*Viola tricolor*), welche in ihrer Lage bei Tag und Nacht in der Abbildung, S. 475, Fig. 3 und 4, neben den Dolden der Möhre dargestellt sind.

Es muß übrigens ausdrücklich hervorgehoben werden, daß die nickende oder gestürzte Lage der Blüten und Blütenstände bisweilen auch auf andere Gründe zurückzuführen ist. Bei mehreren Mohnen, Korbbütlern, Wegerichen, Lippenbütlern, Steinbrechen (z. B. *Papaver*, *Leontodon*, *Plantago maritima*, *Mentha silvestris*, *Saxifraga aizoon*) sind die Blüten und Blütenstände nur im jugendlichen Zustande nickend oder überhängend. In dieser Periode haben die Träger dieser Blüten und Blütenstände ihre normale Höhe noch nicht erreicht. Das Gewebe dieser Stiele muß noch wachstumsfähig bleiben, ist noch weich und saftreich, und die aufrechte Lage sowie die Versteifung durch feste Gewebe würde in dieser Zeit nichts weniger als vorteilhaft sein. Erst später, wenn sich die Blüten öffnen, ist ihre aufrechte Lage von Vorteil; dann aber haben auch die Stiele ihre normale Länge und Höhe erreicht und sind versteift und dauernd aufrecht. Daß das hier in Rede stehende Nicken und Nickenwerden der Blüten und Blütenstände auch mit dem Schutze gegen Tau und Regen im Zusammenhange steht, ist sehr wahrscheinlich. In vielen Fällen mögen durch das Nickenwerden alle drei Vorteile zugleich erreicht werden. Geht man an einem kalten Frühlingmorgen in den Garten, so findet man die Blüten vieler Frühlingbüttler, Krokus, Tulpen und anderer, geschlossen, d. h. ihre Blütenblätter zusammengeneigt zum Schutze der Staubfäden und Fruchtknoten. Kommt die Sonne zum Durchbruch und die Lufttemperatur erhöht sich, dann öffnen sich die Blüten, indem ihre Blumenblätter sich nach außen bewegen. Daß die höhere Temperatur die Ursache dieser Bewegungen ist, läßt sich leicht erläutern. Geschlossene Tulpen oder Krokusblüten, ins warme Zimmer gestellt, öffnen sich nach kurzer Zeit.

Ein sehr auffallende, gegen den Wärmeverlust durch nächtliche Strahlung schützende Einrichtung beobachtet man an den Keimlingen der Samenpflanzen, und zwar denjenigen, welche zwei Keimblätter oder Kotyledonen (vgl. S. 11 und 12) besitzen. Solange der Keimling, von schützenden Häuten umgeben, scheinbar im Samen ruht, sind die zwei Keimblätter mit ihrer oberen Seite aufeinandergelegt; später, wenn die Keimung stattgefunden, wenn das Würzelchen in die Erde eingedrungen und die Samenhülle abgestoßen ist, rücken die beiden Keimblätter auseinander, kehren die obere Seite dem Himmel zu, und der oberirdische Teil des Keimlinges ist jetzt einem aufgeschlagenem Buche vergleichbar. In dieser Lage sind die Breitseiten der Keimblätter den Sonnenstrahlen ausgesetzt, werden auch möglichst durchleuchtet und durchwärmt, und es kann in ihnen, wenn sie grün gefärbt sind, auch die Bildung organischer Stoffe aus unorganischer Nahrung stattfinden. Für derlei grüne Keimblätter wäre es nun gewiß ein großer Nachteil, wenn sie die im Laufe des Tages empfangene Wärme in der folgenden Nacht wieder teilweise, ja vielleicht ganz verlieren müßten. Zumal in Gegenden, wo die Mehrzahl der Samen bei niederer Temperatur nach Ablauf des Winters, in einer Zeit, in welcher die Nächte noch lang dauern, keimt, muß der Wärmeverlust durch nächtliche Strahlung aus den Keimblättern vermieden sein. Das geschieht nun dadurch, daß sich die auseinandergeschlagenen und mit ihren Breitseiten dem Himmel zugewendeten Keimblätter nach Untergang der Sonne aneinanderlegen und wieder jene Lage annehmen, welche sie seinerzeit im ruhenden Samen innehatten. Dadurch sind jetzt beide Keimblätter mit ihren schmalen

Rändern dem Himmel zugewendet, und der Wärmeverlust durch nächtliche Strahlung ist auf ein möglichst geringes Maß herabgesetzt. Durch diese Bewegung der Keimblätter wird auch noch der Vorteil erreicht, daß die kleinen Laubblättchen, die an der ersten Anlage des Stengels zwischen den Keimblättern sichtbar werden, über Nacht zugedeckt sind. Kommt dann der Morgen, und ist die Gefahr des übergroßen Wärmeverlustes vorüber, so klappen die Keimblätter wieder auseinander, um sich so neuerdings in den wärmenden Strahlen möglichst ausgiebig zu sonnen. Man beobachtet dieses Auf- und Zuklappen der Keimblätter besonders bei den Hülsengewächsen, den Sauerfleerarten, Kürbissen, Gurken und Melonen, bei der Sonnenrose und dem Paradiesapfel, bei den Arten von *Mimulus*, *Mirabilis*, *Agrostema* und noch vielen anderen.

Durch ähnliche Lageänderungen, wie sie die Keimblätter zeigen, sind in vielen Fällen auch die Laubblätter mancher Pflanzen gegen nächtliche Strahlung geschützt. Man versteht unter zusammengesetzten Laubblättern solche, die an einem gemeinsamen Stiele Teilblättchen in fiedelförmiger oder strahliger Anordnung tragen, und unterscheidet von den ersteren die einfach und die doppelt zusammengesetzten Formen, je nachdem der gemeinsame Blattstiel nur in einen einzigen Träger der Blättchen sich fortsetzt (s. Abbildung, S. 478, Fig. 5) oder sich in mehrere solche Träger teilt (Fig. 1), während man von den letzteren je nach der Zahl der am Ende des gemeinsamen Blattstiels strahlenförmig gruppierten Teilblättchen dreizählige (s. Abbildung, S. 254, Fig. 7), vierzählige, fünfzählige usw. unterscheidet. Diese zusammengesetzten Blätter sind nun in manchen Fällen, deren bereits S. 254 gedacht worden ist, während der milden Nächte ausgebreitet, im heißen Sonnenbrande des Mittags dagegen zusammengelegt. In der größten Mehrzahl der Fälle, zumal an den Arten, die in unserem Klima in der Nacht starker Abkühlung ausgesetzt sind, wird aber das Gegenteil beobachtet. Im Tageslichte stehen die Flächen der Teilblättchen dem Boden mehr oder weniger parallel, ihre obere Seite ist dem Himmel zugewendet und wird von den Sonnenstrahlen voll getroffen. Blicke diese Lage auch noch nach Sonnenuntergang erhalten, so müßten die Flächen der Blättchen viel Wärme durch Strahlung gegen den Nachthimmel abgeben. Um das zu vermeiden, schlagen sich die Teilblättchen nach aufwärts oder abwärts und stellen sich sozusagen auf die Schneide. In dieser senkrechten Lage sind ihre Breitseiten so gut wie möglich und auf die einfachste Weise vor der Ausstrahlung der Wärme gegen den Nachthimmel geschützt.

Die Bewegung dieser Blättchen wird durch zylindrische, zarte Gelenke bewirkt, die wie kurze Blattstiele aussehen. Diese Gelenke sind Schwellkörper, die einen verschiedenen Wassergehalt ihrer Ober- oder Unterseite annehmen können und sich dadurch entweder aufwärts oder abwärts krümmen. Durch diese Krümmung werden die kleinen Blattflächen mit bewegt und ihre Lage zweckmäßig verändert. Den Anstoß zur periodischen Änderung des Turgors in den Gelenkwülsten bildet die Abnahme des Lichtes nach Sonnenuntergang, und da das dadurch bewirkte Heben und Senken der Blättchen mit dem Aufsuchen der nächtlichen Schlafstätten von Seiten der Vögel und anderer Tiere zusammenfällt, so hat man die besprochene Erscheinung auch als Schlafbewegung gedeutet und bezeichnet.

Bei einem Teile der Pflanzen, deren Blättchen bei eintretender Dunkelheit nach Sonnenuntergang eine Schlafstellung annehmen, bewegen sich die an der Basis mit Gelenkwülsten ausgestatteten Blättchen nach aufwärts, bei anderen in entgegengesetzter Richtung nach abwärts. Bei den dreizähligen Blättern, als deren Vorbild das Kleeblatt dienen kann, ist die Bewegung nach aufwärts die Regel. Nach erfolgter Aufrichtung sind die Teilblättchen entweder alle drei nahezu unter rechtem Winkel gegen den Horizont gerichtet, oder das Endblättchen

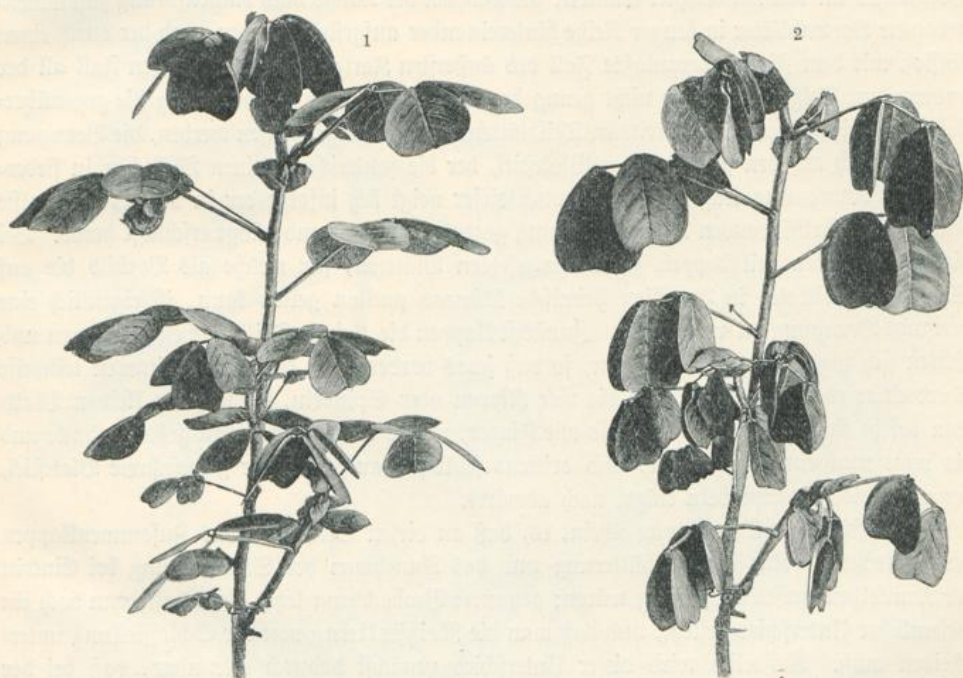
hat sich noch etwas mehr als die beiden seitlichen aufgebogen. Ein sehr hübsches Beispiel hierfür gibt der Schotenflee (*Tetragonolobus siliquosus*), welcher in der untenstehenden Abbildung durch Fig. 7 und 8 dargestellt ist, dann *Desmodium penduliflorum* sowie verschiedene Arten der Gattungen Hornflee, Kopfflee, Honigflee und Schneckenflee (*Lotus*, *Trifolium*, *Melilotus*, *Medicago*). Gefiederte Blätter, deren Teile sich aufrichten und ähnlich wie die



Lageänderungen der Teilblättchen zusammengesetzter Blätter: 1 Blatt der *Mimosa Lindheimeri* in der Tagstellung, von oben gesehen, 2 daselbe in der Nachtstellung; 3 Blatt der *Amorpha fruticosa* in der Tagstellung, 4 daselbe in der Nachtstellung; 5 Blatt der *Coronilla varia* in der Tagstellung, 6 daselbe in der Nachtstellung; 7 Blatt des *Tetragonolobus siliquosus* in der Tagstellung, 8 daselbe in der Nachtstellung. (Zu S. 477—479.)

Blätter eines zugeklappten Buches aneinanderlegen, findet man an den zahlreichen kleinen, struppigen Mimosensträuchern Perus, von welchen eine Art, *Mimosa Lindheimeri*, in der obenstehenden Abbildung durch Fig. 1 und 2 in der Tag- und Nachtstellung wiedergegeben ist, an mehreren echten Akazien, an den Arten der Gattung *Gleditschia* und an der europäischen Kronwicke (*Coronilla varia*), von welcher die Fig. 6 zeigt, wie sich die aufgerichteten Blättchen sehr regelmäßig paarweise aneinanderlegen. Ebenso häufig beobachtet man Fälle, wo sich die Teile gefiederter oder gefingierter Blätter nach Sonnenuntergang nach abwärts

schlägen. Als Beispiel für diese Abteilung wurde in die Abbildung auf S. 478 das Blatt einer der zahlreichen amerikanischen Amorphen (*Amorpha fruticosa*), Fig. 3 und 4, aufgenommen. Man findet solche in der Nacht herabgeschlagene Blättchen aber auch sehr auffallend an den verschiedenen Indigo- und Süßholzarten (*Indigofera* und *Glycyrrhiza*), an den Sophoren (z. B. *Sophora alopecuroides*), an *Abrus precatorius*, *Averrhoa Carambola*, *Gymnocladus Canadensis*, *Robinia Pseudacacia* und an den Arten der Gattung Sauerflee (*Oxalis*; vgl. S. 171), sowie bei der unten abgebildeten, schon früher (S. 152) erwähnten, gegen Lichtwechsel sehr empfindlichen *Amicia Zygomeris*.



Amicia Zygomeris: 1 in Tagstellung, 2 in Schlafstellung bei Eintritt der Dunkelheit.

Mit Rücksicht auf die Ausstrahlung ist es gleichgültig, ob sich die Teilblättchen aufrichten oder herabschlagen; die Hauptsache ist, daß sie ihr Profil dem Nachthimmel zuwenden, und das geschieht in allen oben erwähnten Fällen. Es ist aber am Platze, hier darauf aufmerksam zu machen, daß durch die periodische Lageänderung der Laubblattflächen neben dem Schutze gegen zu weit gehenden Wärmeverlust auch noch andere Vorteile erreicht werden können. So ist in den Tropen, wo wegen gleichbleibender Nachttemperatur die Ausstrahlung gering ist, die Schlafstellung wahrscheinlich ein Schutz gegen Taubildung.

Einige Pflanzen, deren Blättchen bei Eintritt der Dunkelheit die Schlafstellung annehmen, zeigen ähnliche Bewegungen auch am hellen Tage, sobald sie erschüttert oder betastet werden, und zwar unter diesen Umständen viel rascher als bei Eintritt der Dunkelheit. Es genügt die leiseste Berührung mit dem Finger, ja selbst die Erschütterung durch einen mäßigen Luftstrom, um die Blättchen dieser Gewächse zum Zusammenklappen zu bringen. Einige Schmetterlingsblütler (z. B. *Smithia sensitiva* und *Aeschynomene Indica*) sowie

mehrere Mimosen (*Mimosa pudica*, *sensitiva*, *casta*, *dormiens*, *humilis*, *viva*) sind besonders empfindlich. Die Erscheinung macht ganz den Eindruck, als ob die Pflanzen durch die Berührung erschreckt zusammensfahren und sie in irgendeiner Weise fühlen oder empfinden, was die älteren Botaniker auch veranlaßte, diese Gewächse *Sensitive* zu nennen.

Fällt bei beginnendem Regen der erste Regentropfen auf eines der ausgebreiteten Blättchen, so klappt das betroffene Blättchenpaar augenblicklich zusammen und nimmt die sogenannte Reizstellung ein; die Nachbarn machen diese Bewegung zwar rasch nach, aber doch immer in einer bestimmten Reihenfolge. Unwillkürlich wird man bei dem Ansehen dieses Vorganges an das Kinderspiel erinnert, bei welchem der Länge nach rinnenförmig zusammengebogene Kartenblätter in langer Reihe hintereinander aufgestellt werden, und der durch einen Anstoß mit dem Finger veranlaßte Fall des äußersten Kartenblattes im Nu den Fall all der anderen zur Folge hat. Aber nicht genug damit, daß durch die Erschütterung die gegenüberstehenden, bisher flach ausgebreiteten Teilblättchen zusammengeschlagen werden, die Bewegung setzt sich auch auf den gemeinsamen Blattstiel, der die zahlreichen kleinen Blättchen in fiederförmiger Anordnung trägt, fort, und auch dieser neigt sich infolge der in dem Gelenkwulste seiner Basis stattfindenden Turgoränderung gegen den Boden und hängt erschlafft herab. Bei diesen Sensitiven mit doppelt zusammengesetzten Blättern, für welche als Vorbild die auf S. 481 abgebildete, in Brasilien heimische *Mimosa pudica* gelten kann, ist eigentlich eine dreifache Bewegung zu verzeichnen. Zunächst klappen die kleinen Teilblättchen zusammen und richten sich zugleich etwas nach vorn, so daß jedes vordere von dem nächst hinteren teilweise überdeckt wird, dann rücken auch die vier Rippen oder Spindeln, die mit den kleinen Blättchen besetzt sind, aneinander, etwa so wie Finger, welche man ausgespreizt gehalten hatte und die man nun einander nähert, und drittens senkt sich auch noch der gemeinsame Blattstiel, der vorn die vier Spindeln trägt, nach abwärts.

Bei flüchtiger Betrachtung scheint es, daß an diesen Sensitiven das Zusammenklappen der Blättchen infolge der Erschütterung und das Annehmen der Schlafstellung bei Eintritt der Dunkelheit derselbe Vorgang wären; genauere Beobachtung lehrt aber, daß denn doch ein wesentlicher Unterschied besteht, und daß man die Reizstellung von der Schlafstellung unterscheiden muß. Außerlich wird dieser Unterschied zunächst dadurch erkennbar, daß bei der infolge von Dunkelheit eintretenden Schlafstellung eines Blättchens der darunter befindliche Gelenkwulst ganz steif bleibt, während bei dem durch Erschütterung veranlaßten Zusammenklappen der Blättchen eine Erschlaffung der einen Hälfte des Gelenkwulstes eintritt. An Durchschnitten der Gelenkwülste von Sensitiven findet man, daß Ober- und Unterseite des Gelenkes einen verschiedenen anatomischen Bau besitzen. Wenn man die Oberseite mit einem Stäbchen berührt, so wird dadurch eine Veränderung nicht veranlaßt; sobald man aber die Unterseite des Gelenkes noch so leise betastet, so tritt sofort eine Krümmung ein. Der schwächste Druck wird demnach von den Protoplasten in diesen Zellkammern als Reiz empfunden und veranlaßt sie, einen Teil des ihrem Machtbereich unterstehenden Wassers in den Stamm abfließen zu lassen. Dadurch wird nun der Turgor in diesem Teile des Wulstes sehr verringert, das betreffende Zellgewebe erschlafft, und in dem Maß, als diese Erschlaffung stattfindet, steigert sich der Turgor in dem Zellgewebe der gegenüberliegenden Hälfte des Blattwulstes. Es scheint auch, daß ein Teil des von dem gereizten Protoplasten abgegebenen Wassers in das gegenüberliegende Gewebe hineingepreßt und dadurch der Turgor dort noch gesteigert wird.

Die Fortpflanzung des Reizes, der bei Berührung zunächst nur auf ein einzelnes

Teilblättchen des zusammengesetzten Blattes ausgeübt werden kann, auf die Nachbarn und auf die gemeinsamen Blattstiele, ja schließlich auf die ganze Pflanze, erinnert lebhaft an den ähnlichen Vorgang in den Blättern des Sonnentaus und der Venusfliegenfalle (vgl. S. 323



Mimosa pudica in der Ruhe- und in der Reizstellung. (Zu S. 480.)

und 327), sie erinnert auch an die Leitung des Reizes im Protoplasma niederer Tiere und ist wohl auf ähnliche Weise wie dort aufzufassen. Die Protoplasten der reizbaren Zellgruppen in allen Gelenkwülsten sind, wie früher gesagt, durch unendlich zarte, die Zellwände durchsetzende Protoplasmafäden verbunden (vgl. S. 45), und die durch den Reiz veranlasste

molekulare Bewegung im Protoplasma, wenn sie zunächst auch nur eine einzige Zelle erfasst hat, pflanzt sich wie der elektrische Strom in den Telegraphendrähten über andere im Verbände befindliche, durch die zarten Plasmasäden verkettete Protoplasten fort, überall dieselbe Erscheinung, nämlich eine Zusammenziehung bestimmter Zellen und ein Hinauspressen von Zellsaft in die benachbarten Interzellulargänge, veranlassend.

Die Vorteile, welche durch diese merkwürdigen Lageänderungen der Blättchen erreicht werden, sind wohl verschiedener Art. Bei Tage liegt einer der Vorteile augenscheinlich darin, daß durch die veränderte Blattlage eine rasche Ableitung des Regenwassers ermöglicht wird. An den Sensitiven mit gefiederten Blättern, wie z. B. an *Mimosa pudica*, sieht man alle Regentropfen über die zur Erde geneigten Blattstiele und die zusammengeklappten Blättchen rasch nach abwärts zur Erde gleiten, so daß kein Tropfen auf dem zarten Laubwerk zurückbleibt, und an jenen mit kleeartigen oder fächerförmig zusammengesetzten Blättern bemerkt man, daß sich die Teilblättchen, die von den aufrecht bleibenden Blattstielen infolge der Erschütterung durch die Regentropfen herabgeschlagen sind, längs der Mittelrippe falten, so daß jedes derselben eine Rinne bildet, durch welche das Regenwasser rasch zum Boden niederfließt. Unter anderen Umständen können durch die rasche Veränderung der Lage der Blättchen wieder andere Vorteile erreicht werden. Manchmal kommt es vor, daß stoßweise einfallende trockene Winde und angewehter Sand, oder daß eine ganz außergewöhnliche Hitze zur Mittagszeit ein Zusammenlegen der Blättchen verursacht. In den zuletzt erwähnten Fällen ist es wohl die Gefahr zu weit gehender Transpiration, welche die Pflanzen veranlaßt, die Breitseiten ihrer Blättchen vertikal zu stellen. Die Schlafstellung der Blätter ist dagegen wohl als Schutz gegen nächtlichen Wärmeverlust anzusehen, kann aber auch die nächtliche Transpiration herabsetzen.

Aus allen Beobachtungen geht hervor, daß die Blättchen durch ihre Bewegungen sehr verschiedenen Gefahren ausweichen können: in der hellen Nacht dem durch Ausstrahlung bedingten Wärmeverlust und der Benetzung durch Tau, am heißen Mittag dem Vertrocknen infolge rascher Verdunstung und bei Regenwetter der Knickung und dem Aufschlagen der zarten Blätter auf den Boden. Allgemein wird angenommen, daß noch ein weiterer Vorteil durch diese Bewegungen erreicht wird, nämlich ein Schutz gegen Tiere. Doch bedürfen die Vorstellungen darüber wohl der Berichtigung. Wie in anderen Büchern hieß es auch in der letzten Auflage dieses Buches, daß „weidende Tiere, welche die zarten Blätter der Sensitiven beschnuppern und mit dem Maule berühren, durch die plötzlichen Bewegungen der Blättchen befremdet und erschreckt würden und es unterlassen, diese unheimlichen Pflanzen abzufressen, zumal dann, wenn zwischen den sich herabschlagenden Blättchen spitze, starrende Dornen sichtbar werden, was namentlich bei vielen Mimosen der Fall ist“.

Beobachtungen, welche der Herausgeber auf Ceylon machte, ergaben jedoch, daß von einem Erschrecktwerden der Weidetiere durch die Bewegungen der Mimose keine Rede sein kann. Die aus den südamerikanischen Tropen stammende *Mimosa pudica* ist auf Ceylon auf allen Weidetriften und an trockenen besonnten Stellen weit verbreitet. Weidende Zebus kommen daher in der Tat mit ihr in Berührung. Allein das Tier bekommt die Blattbewegungen selbst gar nicht zu Gesicht, denn schon vor der Berührung mit dem Maule erschüttern die wandelnden Füße die Pflanze und bringen sie in Reizstellung. Dann sieht man von der Pflanze nichts mehr als die Blüten, und ich beobachtete oft, daß diese von den Zebus abgebissen wurden. Sich weiter mit der Pflanze zu befassen, würden auch die erwähnten Dornen wohl verbieten, aber es scheint, daß die Tiere von den gereizten Pflanzen überhaupt

nichts weiter wahrnehmen. Wenn man ein Mimofengestrupp mit dem Fuß erschüttert, so ist das ganze Laubwerk verschwunden und man sieht nichts als die braunrot angelaufenen Stengel, so daß man den Eindruck hat, als ob dort ein Haufwerk trockener Zweige läge. Das Bodenstück macht dann einen ganz trostlosen Eindruck, und auch den Tieren mag es wohl scheinen, daß dort nichts zu holen sei, denn sie wandern weiter, ohne die Pflanze genauer zu untersuchen. Daß die Blattbewegung kleinere Schädlinge, z. B. Insekten, besonders Ameisen, erschrecken und in die Flucht schlagen kann, ist dagegen wahrscheinlich.

Es kann nicht genug darauf hingewiesen werden und sei am Schlusse nochmals betont, daß gleiche und ähnliche Einrichtungen sowie gleiche und ähnliche Vorgänge eine sehr verschiedene Bedeutung haben können, je nachdem sie an dieser oder jener Pflanze, an diesem oder jenem Standort, unter diesen oder jenen klimatischen Verhältnissen vorkommen, sowie daß andererseits durch ein und dieselbe Einrichtung zwei oder mehrere Vorteile zugleich erreicht werden können.

In diesem Bande ist nur ein Teil der Lebensbetatigungen der Pflanzen geschildert, namentlich die Ernährung und die Anpassungen des Pflanzenkörpers an die Umgebung, welche diesen Zweck fördern und sichern helfen. Im zweiten Bande sollen sich die Vorgänge der Fortpflanzung anschließen. Die Biologie der Pflanzen befaßt sich ganz wesentlich mit der Aufklärung der praktischen Bedeutung der Organe und Einrichtungen des Pflanzenkörpers für die Existenz, für das Leben der Pflanze. Aber die Biologie ist nicht immer in der Lage, ihre Fragen nach der Bedeutung der Erscheinungen durch das Experiment zu beantworten. Sie ist vielfach angewiesen auf Abwägen, Überlegen und Schlußfolgerungen, und kann zwar in vielen Fällen zu ausreichender Einsicht, in ebenso vielen aber nur bis zur Wahrscheinlichkeit ihrer Annahmen gelangen. Darum ist für sie eine scharfe Kritik ihrer Schlüsse unbedingte Forderung, und wenn in neuerer Zeit gerade die Biologie ein Tummelplatz für eine populäre und unkritische Literatur geworden ist, so ist das, wie es von Wettstein in einem Vortrage auf der Naturforscherversammlung in Münster (1912) getan hat, mit Recht zu verurteilen. Die Biologie verträgt um so weniger eine, übrigens antiquierte und aus dem Anfang des 19. Jahrhunderts stammende Vermengung mit ästhetischen und psychologischen Elementen und eine unwahre, poetisierende Darstellung, als von naturwissenschaftlichen Forschern streng kausaler Richtung ihren Zielen Schwierigkeiten bereitet werden. Man sagt, da es absolut unbewiesen sei, daß in der Natur irgendwelche Zwecke verfolgt werden, so sei es nicht wissenschaftlich, nach den Zwecken der Organisation der Lebewesen zu fragen; man könne nur Vorgänge beobachten, nach ihren Ursachen fragen, und müsse diese womöglich experimentell festzustellen suchen. So verfährt die durch diesen Standpunkt von der Biologie verschiedene Pflanzenphysiologie. Sie nähert sich dadurch in ihrer Strenge anderen, sogenannten exakten Naturwissenschaften, wie der Chemie und der Physik. Der Physiker erforscht die Ursache des Blitzes, er fragt aber nicht, welchen Zweck der Blitz hat, der Chemiker analysiert den Kupfervitriolkristall, fragt aber nicht, wozu er da ist. Allein hier liegt auch gar kein Bedürfnis des Verstandes vor, diese Frage zu stellen, und es bedeutet eine Einseitigkeit, deshalb die Frage nach Zwecken von Natureinrichtungen überhaupt abzuweisen. Unser Verstand ist nun einmal so eingerichtet, daß er von Kindheit an die Frage nach dem Zweck, nach der Bedeutung von Einrichtungen aufwirft. Diese Betrachtungsweise bezeichnet man im Gegensatz zur kausalen als teleologische. Das griechische Wort Teleologie heißt aber auf deutsch nichts anderes als Zweckmaigkeitslehre.

Daß im menschlichen Leben die Frage nach dem Zweck oder der Bedeutung für die Gewinnung vollständiger Einsicht eine Notwendigkeit ist, weiß jedermann. Das Interesse wird nicht befriedigt, wenn der Physiker uns den Telegraphen oder einen anderen Apparat bloß kausal erklärt und gar nicht mitteilt, was man damit erreicht, welchen Zweck er hat. Und nun sollte man bei lebenden Wesen, deren Existenz doch zweifellos von ihren Organen abhängig ist, nicht nach dem Zweck oder der Bedeutung dieser Organe fragen dürfen?

Schon Kant hat bestätigt, daß nur beiderlei Betrachtungsweisen, die kausale und die teleologische, da wo sie überhaupt möglich sind, zum vollen Verständnis der Erscheinung führen. Durch Aufdeckung von Ursache und Wirkung erkennt man nur einen Zusammenhang gewisser Erscheinungen, z. B. daß die Krümmung einer Wurzelspitze durch die Schwerkraft veranlaßt wird. Durch die Frage nach dem Zweck aber wird erst diese merkwürdige Reizbarkeit verständlich, denn die Antwort ist, daß die Bedeutung solcher Fähigkeit, sich zu krümmen, die ist, die Wurzel in für das Leben der Pflanze geeignete Richtungen zu bringen.

Die Naturforscher sind heute alle davon überzeugt, daß kein Lebewesen, keine Organisation neu erschaffen wird, sondern daß alles sich aus einem vorhandenen, gegebenen Anfang, der von einem Lebewesen abstammt, entwickelt. Welches Interesse hätte es aber wohl, wenn man nur kausal erforschen wollte, daß die Entwicklung des Samens zu einer Pflanze durch ein bestimmtes, in Zahlen ausdrückbares Maß von Feuchtigkeit, Wärme und Nährstoffen zustande kommt, wenn man nicht fragen dürfte, zu welchen Zwecken das sich entwickelnde Gebilde infolge dieser Ursachen Wurzeln, Stengel, Blätter und Blüten, Früchte und wieder Samen erzeugt. Die teleologische Betrachtungsweise ist also gerade so wissenschaftlich wie die kausale, nur ihre Methode, ihre Sicherheit, zu richtigen Erkenntnissen zu gelangen, ist unvollkommener. Ihr deshalb die Gültigkeit abzuspochen, wäre ungefähr dasselbe, wie wenn der Dampfschiffskapitän dem Luftfahrer verwehren wollte, einen See zu überfliegen.

Nur vor einem Fehler der Teleologie muß man sich bewahren. Wenn zweifellos die Entwicklung in der Richtung und mit dem Ende erkennbarer Zwecke vor sich geht, so sind diese Endzwecke niemals Ursache der Entwicklung. Nur beim denkenden Menschen, der die Vorstellung seiner Zwecke als Motiv zur Anwendung von Mitteln für die Erreichung derselben benutzen kann, wird diese Vorstellung zur Ursache (Finalursache). Aber diese Ursache ist keine reale, sondern bloß eine ideale. Bei Pflanzen, wo keine Vorstellungen von Zwecken vorhanden sind, kann natürlich der Zweck eines Organes nicht die Ursache seiner Entstehung sein. Die Ursache der Entstehung ist uns zuweilen unerkennbar, obgleich wir den Zweck des Organes wohl erkennen.