3 1761 05234322 5

Frank,
Pflanzenphysiologie.
Zweite Auflage.

VERLAG VON CHANDLER & CO. LANGE IN BERLIN.

QK
711
F7
1896

Butterworth

150

Lehrbuch

der

Pflanzenphysiologie

mit besonderer Berücksichtigung der

landwirtschaftlichen Kulturpflanzen.

Bearbeitet von

Dr. A. B. Frank,

Professor an der Königl. Landwirtschaftlichen Hochschule zu Berlin.

Zweite, neubearbeitete Auflage.

LIBRARY

UNIVERSITY OF TORONTO

Mit 57 Textabbildungen.

93676
23/9/08

Berlin.

Verlagsbuchhandlung Paul Parey.

Verlag für Landwirtschaft, Gartenbau und Forstwesen.

SW., Hedemannstraße 10.

1896.

QK

711

F7

1896

LIBRARY

Vorrede.

Mein für die Landwirte geschriebenes Lehrbuch der Pflanzenphysiologie erscheint hier in zweiter Auflage und zwar in wesentlich neuer Bearbeitung. Ich wollte noch bestimmter die Bedürfnisse des praktischen Landwirthes berücksichtigen und habe daher vieles, was man in den allgemeinen Lehrbüchern mit Recht sucht, hier übergangen oder nur kurz behandelt, bin aber dafür auf diejenigen Fragen der Pflanzenphysiologie, welche mit dem Ackerbau im innigsten Zusammenhange stehen, wie die Lehre von der Ernährung der Pflanzen, von der Bildung der Pflanzenstoffe, vom Wachsen und dessen Faktoren, gründlicher eingegangen, jedoch auch hierbei wieder mit steter Rücksicht auf die Landwirtschaft.

Dieser Plan, dem Buche noch bestimmter einen landwirtschaftlichen Charakter zu geben, hat auch zur Folge gehabt, daß ich das darin behandelte Wissensmaterial in einer anderen Anordnung als in der ersten Auflage gebracht habe, indem ich den Stoffwechsel der Pflanze, also insbesondere die Ernährungslehre voranstellte; und es hat weiter zur Folge gehabt, daß der Umfang des ganzen Buches gegen den der ersten Auflage sich etwas vermindert hat, obgleich ich manche für den Landwirth wichtige Theile der Ernährungslehre noch etwas ausführlicher als das erste Mal behandelt und auch überall den neueren Fortschritten der Wissenschaft wo es nötig war, Rechnung getragen habe. Ich halte diese Verminderung des Umfanges gerade für einen Gewinn, weil ja doch die Pflanzenphysiologie für den Landwirth nur die Bedeutung einer wenn auch wichtigen Hilfswissenschaft haben kann und hier immer eine gewisse Beschränkung geboten sein wird, um möglichst großen Erfolg in der wirklichen Belehrung zu erzielen, sowohl wenn es sich um den Unterricht auf den landwirtschaftlichen Lehranstalten, als auch wenn es sich um das Selbststudium des praktischen Landwirthes handelt. In beiden Richtungen hoffe ich, daß mein Buch brauchbar sein wird. Wer tiefere wissenschaftliche Studien über Pflanzenphysiologie machen will, wird die größeren Lehr- und Handbücher zu Hilfe nehmen müssen.

Die Illustrationen sind meist Reproduktionen der Wandtafeln*), welche ich mit Professor Dr. Tschirch herausgebe, sodaß diese Wandtafeln und mein vorliegendes Buch auch nebeneinander benutzt werden können. Für die gegenwärtige Auflage konnten diese Wandtafeln noch ein größeres Illustrationsmaterial liefern, da von denselben inzwischen neue Abteilungen erschienen sind.

Berlin, im Frühling 1896.

Frank.

*) **Frank**, Professor Dr., in Berlin und Dr. **A. Tschirch**, Professor in Bern. Wandtafeln für den Unterricht in der Pflanzenphysiologie. Farbendruck-Tafeln auf Kartonpapier im Format von 69/85 cm nebst Text. Berlin. Verlagsbuchhandlung Paul Parey.

Sechs Abteilungen mit je 10 Tafeln.

In Mappe à 30 M.

Erste Abteilung. Tafel I—X. Inhalt: Tafel I. Wachstumszonen bei der dikotylen Pflanze. — Tafel II. Wurzelhaare. — Tafel III. Mechanische Gewebe bei Monokotylen. — Tafel IV. Keimung des Mais. — Tafel V. Kartoffelknollen. — Tafel VI. Entstehung, Wachstum und Auflösung des Stärkekornes. — Tafel VII. Bau des Blattes von *Beta vulgaris*. — Tafel VIII. Vorkommen und Verteilung der Spaltöffnungen. — Tafel IX. Spaltöffnungsformen. — Tafel X. Myrtorhiza der Bäume.

Zweite Abteilung. Tafel XI—XX. Inhalt: Tafel XI. Die Zelle. — Tafel XII. Vermehrung der Zellen durch Teilung. — Tafel XIII. Der Vegetationspunkt und das Wachsen des Stengels. — Tafel XIV. Chlorophyllkorn. — Tafel XV. Spektrum des Chlorophylls, Xanthophylls und der lebenden Blätter. — Tafel XVI. Spektrum alkoholischer Auszüge grüner und etiolierter Blätter. — Tafel XVII. Junger Stengel von *Helianthus annuus*, erstes Auftreten der Gefäße. — Tafel XVIII. Junger Stengel von *Helianthus annuus*, vergrößert. — Tafel XIX. Erwachsener Stengel von *Helianthus annuus* im Querschnitte. — Tafel XX. Erwachsener Stengel von *Helianthus annuus*, vergrößert.

Dritte Abteilung. Tafel XXI—XXX. Inhalt: Tafel XXI. Keimung der Erbse. — Tafel XXII. Stengel von *Linum usitatissimum* im Querschnitt, Festigung durch den Holz- und Bastring. — Tafel XXIII. Wachstum des Roggenhalmes. — Tafel XXIV. Fibrovasalstrang und Stärkscheide des Mais. — Tafel XXV. Spaltöffnung des Rübenblattes I. — Tafel XXVI. Spaltöffnung des Rübenblattes II. — Tafel XXVII. Entstehung und Beschaffenheit des Wurzelhaares. — Tafel XXVIII—XXIX. Kernteilung. — Tafel XXX. Farbstoffkörper.

Vierte Abteilung. Tafel XXXI—XL. Inhalt: Tafel XXXI. Keimung des Weizen. — Tafel XXXII. Wurzelknöllchen der Lupine. — Tafel XXXIII. Wurzelknöllchen der Erbse. — Tafel XXXIV. Bakteroiden und Symbiosepilz der Leguminosen. — Tafel XXXV. Einwanderung des Symbiosepilzes in die Lupine. — Tafel XXXVI. Einwanderung des Symbiosepilzes in die Erbse. — Tafel XXXVII. Wurzelknöllchen von *Phaseolus nanus*. — Tafel XXXVIII. Die tägliche Periode des Wachstums. — Tafel XXXIX. Das Ringgefäß. — Tafel XL. Das Spiralgefäß.

Fünfte Abteilung. Tafel XLI—LX. Inhalt: Tafel XLI—XLIV. Stärkeformen. — Tafel XLV. Übergang des primären Baues der Wurzel in den sekundären und Abwerfen der primären Rinde. — Tafel XLVI. Periderm (Kork und Korkbildung). — Tafel XLVII. Kork der Knollen von *Solanum tuberosum*. — Tafel XLVIII. Wundkork und Blattfall. — Tafel XLIX. Verwurzelung der Dikotylen (Lupine, Senf). — Tafel L. Verwurzelung der Monokotylen (Roggen).

Sechste Abteilung. Tafel LI—LX. Inhalt: Tafel LI. Kambiumring und Dickenwachstum des Holzkörpers der Bäume, I. — Tafel LII. Kambiumring und Dickenwachstum des Holzkörpers der Bäume, II. — Tafel LIII. Epidermiszellen. — Tafel LIV. Cuticula und Cuticularschichten. — Tafel LV. Kreislauf des Stickstoffes. — Tafel LVI. Neurotonform. — Tafel LVII. Schizogene Sekretgänge. — Tafel LVIII. Östrien (Vittae) der Umbelliferenfrüchte. — Tafel LIX. Sekretdrüsen bei Labiaten und Kompositen. — Tafel LX. Sekretdrüsen beim Hanf, dem Hopfen und Equis.

Inhalt.

	Seite
Einleitung. Die Zellen als die Elementarorgane der Pflanze	1
I. Teil. Der Stoffwechsel der Pflanze	8
1. Abschnitt. Welches sind die chemischen Bestandteile der Pflanze?	8
2. Abschnitt. Wie die Pflanze die Nahrung aufnimmt	12
I. Die Aufnahme des Wassers und der wasserlöslichen Nährstoffe	12
1. Die zur Nahrungsaufnahme bestimmten Organe	12
2. Die Gesetze der Nahrungsaufnahme	16
II. Die Verdunstung oder Transpiration der Pflanze	22
Verschiedenheit der Verdunstung je nach Pflanzenarten	25
III. Das Aufsteigen des Wassers in der Pflanze	27
1. Verlauf der Fibrovasalstränge	27
2. Die bei der Wassersteigung funktionierenden Apparate der Fibrovasalstränge	31
3. Durch welche Kräfte das aufsteigende Wasser in der Pflanze in Bewegung gesetzt wird	38
IV. Die Aufnahme gasförmiger Nahrungsstoffe	42
V. Mithilfe von Symbiose bei der Ernährung	47
3. Abschnitt. Woraus die Nahrung der Pflanze besteht	55
1. Kapitel. Wie erwirbt die Pflanze Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff (die Elemente der verbrennlichen Substanz)?	57
I. Die chlorophyllhaltigen Pflanzen bekommen Kohlenstoff aus der Kohlensäure der Luft, Wasser- und Sauerstoff durch das Wasser	58
II. Stickstoff nehmen viele chlorophyllhaltige Pflanzen aus Salpetersäure oder aus Ammoniak	66
III. Freier Stickstoff als Nahrung der Pflanzen	70
IV. Organische Verbindungen als Kohlenstoff- und Stickstoffquellen der Pflanze	76
A. Der Saprophytismus	77
B. Der Parasitismus	79
C. Der Insektenfang	82

	Seite
2. Kapitel. Die mineralischen Nährstoffe und ihre Bedeutung	83
1. Der Schwefel	83
2. Der Phosphor	83
3. Das Chlor	84
4. Das Silicium	85
5. Das Kalium	86
6. Das Calcium	87
7. Das Magnesium	89
8. Das Eisen	89
4. Abschnitt. Was die Pflanze aus ihrer Nahrung macht	90
1. Kapitel. Übersicht der wichtigsten Pflanzenstoffe	90
I. Die Kohlenhydrate	90
A. Die Cellulose-Gruppe	90
B. Die Traubenzucker-Gruppe	92
C. Die Rohrzucker-Gruppe	92
II. Die Pseudozucker	93
III. Die Glykoside	93
IV. Die Gerbstoffe	94
V. Die organischen oder vegetabilischen Säuren	94
VI. Die Fette und fetten Öle	95
VII. Die ätherischen oder flüchtigen Öle	96
VIII. Die Harze	97
IX. Die Pflanzenbasen oder Alkaloide	97
X. Die Eiweißstoffe, Albuminate oder Proteine	98
XI. Die Fermente	100
XII. Die Amide	101
XIII. Die Farbstoffe	101
2. Kapitel. Die Bedeutung und die Entstehung der Pflanzenstoffe in der Pflanze	103
I. Die Baustoffe	103
II. Die Reservestoffe	107
1. Die Reservestoffbehälter der Samen	107
2. Reservestoffe der überwinternden Organe der perennierenden Pflanzen	112
3. Reservestoffe für Gewebebildungen in schon vorhandenen Organen	115
III. Die Wanderungstoffe	120
IV. Stoffe, welche behufs Nahrungserwerbung gebraucht werden	124
V. Verschiedene Stoffe, welche als Anlockungsmittel für Insekten bei der Befruchtung der Blüten gebraucht werden	129
VI. Verschiedene Stoffe in den Früchten, welche als Lockmittel zur Verbreitung der Samen wirken	129
VII. Verschiedene Absonderungen (Sekrete), welche als Schutzmittel der Pflanze dienen	130
1. Oberhautsekretionen	130
2. Innere Sekretionen	131

	Seite
3. Kapitel. Die Atmung oder Respiration	134
II. Teil. Die physikalischen Lebenserscheinungen der Pflanzen	142
1. Kapitel. Wie die Pflanze wächst	142
2. Kapitel. Wodurch das Wachsen beeinflusst wird	153
3. Kapitel. Welche Bewegungen kommen an den Pflanzenteilen durch Wachsthum und Gewebespannungen zustande?	156
4. Kapitel. Wie die Pflanze ihre Festigkeit gewinnt	165
III. Teil. Die Vermehrung der Pflanzen	173
I. Die vegetative Vermehrung	173
II. Die Fortpflanzung durch geschlechtlich erzeugte Keime	175
1. Die geschlechtliche Befruchtung	176
2. Verbreitungsmittel der Samen	186
3. Die Keimung	187
4. Vererbung	192

Einleitung.

Die Zellen als die Elementarorgane der Pflanze.

Die Pflanze besteht ganz aus mikroskopisch kleinen Gebilden, welche den Namen Zellen führen. Die größeren Pflanzen sind aus unzähligen miteinander fest zusammenhängenden Zellen aufgebaut; die kleinsten Pflanzen bestehen jedoch aus wenigen oder aus einer einzigen Zelle (einzellige Pflanzen, z. B. die Bakterien, und die Hefe).

Da die Zellen die alleinigen Elementarorgane der Pflanzen sind, so haben auch alle Lebensvorgänge der Pflanze in ihnen ihren Sitz und Ursprung. Für die Pflanzenphysiologie, welche uns mit den Lebensvorgängen der Pflanze bekannt machen soll, ist daher eine Kenntnis dieser Elementarorgane unentbehrlich.

Die Zellen der höheren Pflanzen schwanken in ihrer Größe etwa zwischen 0,02 und 0,2 mm Durchmesser, sind also dem unbewaffneten Auge nicht erkennbar; nur gewisse Zellen, die zu langen faser- oder röhrenförmigen Gebilden oder an der Oberfläche eines Pflanzenteiles zu haarförmigen Organen auswachsen, können durch diese Dimensionsvergrößerung einige Millimeter, selbst Centimeter lang werden. Andererseits haben die niedrigsten einzelligen Pflanzen, namentlich die Spaltpilze oder Bakterien noch viel geringere Größen, die auf Tausendteile eines Millimeters herabgehen.

Wir unterscheiden an den Pflanzenzellen zwei Hauptbestandteile (Fig. 1.). Der wichtigste Teil jeder Zelle ist das Protoplasma; es stellt einen weichen oder fast flüssigen, also wasserreichen Körper dar, welcher wesentlich aus Eiweißstoffen besteht, also einer der wichtigsten Träger des Stickstoffes der Pflanze ist. Der Protoplasmakörper wird in der Regel von einer festen Haut, der Zellhaut oder Zellmembran, umschlossen; durch sie erhält jede Zelle erst ihre bestimmte Form, und die benachbarten Zellen sind durch ihre Zellhäute mit einander verbunden; die Wände dieser Zellenkammern bilden das feste Gerüst des ganzen Pflanzenkörpers. Die Zellhaut besteht meist aus Cellulose, welche ebenfalls eine organische, aber stickstofffreie Verbindung und in Wasser zwar unlöslich, aber für dasselbe durchlässig (imbibitionsfähig) ist.

Das Protoplasma ist der eigentlich lebendige Teil einer jeden Zelle, von welchem alle Lebensthätigkeiten ausgehen. Es erscheint unter dem Mikroskope farblos, wasserklar, doch meist durch viele sehr kleine eingestreute Körnchen mehr oder

weniger trübe. Nur in ganz jungen Zellen bildet es einen massiven Körper, welcher die Zelle ganz ausfüllt; in erwachsenen Zellen erscheint es gewöhnlich hohlsackartig (Fig. 1B), weil es in seinem Innern einen großen mit klarem Saft erfüllten Raum abgeschieden hat, den es in Form einer dünnen, mantelartigen Schicht umkleidet, die der Innenseite der Zellwand anliegt. Man nennt dies den Saft Raum; bisweilen, besonders in halberwachsenen Zellen sind mehrere kleinere Sasträume oder Vakuolen im Protoplasma vorhanden, welche anfangs getrennt

Fig. 1. Zellen aus dem Marke des Maisstengels, vergrößert.

A zeigt die polyedrischen Zellen in ihrem gegenseitigen Verbande, wobei an den Ecken und Ranten kleine luftgefüllte Lücken zwischen den Zellmembranen sich befinden, die Inter-cellulargänge i i i.

B. Eine dieser Zellen mit ihrem vollständigen Inhalte im lebenden Zustande. Innerhalb der Zellmembran liegt das Protoplasma in einer dünnen Schicht, dem sogenannten Primordialschlauch p, rings um den großen mit klarer Flüssigkeit erfüllten Saft Raum s. Bei n n der Zellkern.

C zeigt die Zelle B in plasmolytischem Zustande, wo der sackförmige Primordialschlauch p sich kontrahiert und von der dadurch deutlich sichtbar gewordenen Zellmembran m zurückgezogen hat. Bei h h sieht man deutlich, daß das Protoplasma an seinen beiden Oberflächen eine hyalinere dichtere Schicht, das Hyaloplasma, bildet.

(Frank u. Tschirch, Wandtafeln XI.)

sind und erst später zu einem einzigen Zastraum sich vereinigen. Die in den Zasträumen befindliche Flüssigkeit heißt der Zellsaft; er besteht aus Wasser, in welchem aber verschiedenartige Stoffe aufgelöst sein können.

Ein mehr oder weniger großer Wassergehalt, der immer auch dem Protoplasma selbst verbleibt, verleiht diesem seine weiche schleimähnliche Beschaffenheit und seine meist leichte Bewegungsfähigkeit innerhalb der Zelle. In manchen er-

Fig. 2. Die wachsende Stengelspitze von *Phaseolus multiflorus*.

In 1 ist die ganze Stengelspitze schwach vergrößert; a ist der Vegetationspunkt des Stengels mit seinen Blattanlagen (Bj eine jüngere, Ba eine ältere Blattanlage, weiter unten folgen noch ältere und größere Blattanlagen); bei S die Vegetationspunkte der Seitenzweige, welche in den Achseln der Blattanlagen sich bilden. In 2 ist der Stengel-Vegetationspunkt stärker vergrößert, um zu zeigen, daß er noch aus lauter gleichförmigen Zellen zu sammengesetzt ist, denn die verschiedenen Gewebe des fertigen Stengels (E Epidermis, R Rinde, G Gefäßbündel, M Mark in 1) treten erst in weiterer Entfernung vom Stengelscheitel auf; f₁, f₂ die ersten Anlagen der Blätter, v v diejenigen der Vegetationspunkte der Seitenzweige. Um zu zeigen, wie die Zellen des Stengels allmählich größer werden, sind von den drei Stellen a b und c der Figur 1 die dazuliegenden Markzellen in 3, 4 und 5 bei gleicher Vergrößerung dargestellt; in 3 die Meristemzellen mit Plasma reich erfüllt, in 4 im wachsenden Zustande mit transitorischer Stärkebildung, in 5 erwachsen, wo die Stärke wieder verschwunden ist. (Frank u. Tschirch, Wandtaf. XIII.)

wachsenden Zellen ist sogar das Protoplasma, so lange es am Leben, in beständiger Bewegung begriffen, die entweder in der wandständigen Schicht in geschlossener Bahn um die Zelle geht oder auch in netzförmig zusammenhängenden Strängen fließt (Rotation und Zirkulation des Protoplasmas).

Im Protoplasma einer jeden Zelle ist ein Zellkern (nucleus) vorhanden, ein scharf umschriebenes ungefähr rundes Körperchen, in dessen Innerem meist ein oder mehrere kleinere helle Körnchen, die Kernkörperchen oder Nucleolen unterschieden werden können. Der Zellkern besteht aus einer besonderen Art von Eiweißstoffen, nämlich aus Nuclein, d. i. eine phosphorsäurehaltige Eiweißverbindung, weshalb die Zellkerne die wichtigsten Träger der Phosphorsäure in der Pflanze darstellen.

Zellbildung. Die Bildung neuer Zellen beruht immer auf einer Vermehrung schon vorhandener Zellen. Für das Wachsen der Pflanze bedarf es einer ungeheuer großen Zahl neuer Zellen, die sich an die vorhandenen Zellen anreihen. Am Pflanzentkörper sind es, wie wir unten beim Wachstumsprozeß näher sehen werden, immer nur gewisse Punkte, an welchen neuer Zuwachs erfolgt, während die übrigen Teile des Pflanzentkörpers nicht mehr wachsen. Jene Stellen nennen wir die Vegetationspunkte; wir finden sie also an den äußersten Spitzen der Wurzeln, bei den Stengelorganen in den Knospen derselben, also an den Enden wachsender Stengel, beziehentlich in dem von den älteren Blättern umgebenen Herz der Pflanze. Die Zellen, aus welchen diese Vegetationspunkte bestehen, finden wir sämtlich in lebhafter Vermehrung begriffen und können sagen, daß die Zellen in diesem Zustande eben nur die einzige Aufgabe haben, neue Zellen zu bilden. Darum sind auch die Zellen dieser Vegetationspunkte von ganz anderer Beschaffenheit als die Zellen in den erwachsenen Gliedern der Pflanze, wo keine Zellbildung mehr stattfindet. Unter sich aber sind diese Zellen von einer sehr gleichartigen Beschaffenheit und diese ist auch in den Vegetationspunkten sämtlicher Pflanzen eine und dieselbe. Wir nennen ein solches Zellgewebe Teilungsgewebe oder Meristem, mit Bezugnahme auf die alleinige Funktion, welche diese Zellen haben, nämlich die, sich durch Teilung zu vermehren. Die charakteristischen Eigenschaften der Zellen in den Meristemen aller Pflanzen und Pflanzenteile lassen sich in folgende Punkte zusammenfassen. Diese Zellen sind sehr klein, weil sie die jüngsten Stadien darstellen, von ziemlich isodiametrischer Gestalt und lückenlos mit einander verbunden, die Zellmembran ist ein gleichmäßig dünnes Häutchen, das Innere der Zellen ist völlig und allein von Protoplasma mit dem Zellkern ausgefüllt, höchstens sind erst verhältnismäßig kleine saftartige Vakuolen in dem Protoplasma, aber niemals andere Bestandteile darin zu sehen.

Nur solange als eine Zelle die hier beschriebene Beschaffenheit des Meristems hat, insbesondere nur solange sie sich im Besitze von Protoplasma und Zellkern befindet, ist sie fähig durch Vermehrung neue Zellen zu erzeugen. Insofern eine Zelle neue Zellen erzeugt, nennt man jene die Mutterzelle, diese die Tochterzellen. In den Vegetationspunkten geschieht die Vermehrung der Zellen immer

durch Zellteilung, d. h. die Mutterzelle geht dabei jedesmal in zwei meist gleich- große Tochterzellen auf, indem sie sich durch eine quer durch ihre Mitte gehende Scheidewand von Zellhautstoff in zwei Fächer teilt (Fig. 3). Diese Teilung wird stets eingeleitet durch die Kernteilung der Mutterzelle. Der Zellkern der Mutter- zelle erleidet dabei eine unter sehr komplizierten Erscheinungen (vergl. Fig. 3) sich vollziehende Dissociation seiner feineren Formelemente, die man früher für eine förmliche Auflösung des Kernes hielt, die aber nur eine Neugruppierung der einzelnen stofflichen Bestandteile des Mutterkernes zu zwei neuen Kernen ist, welche schließlich fertig neben einander liegen, worauf dann auch der gesamte Protoplasmakörper in einer zwischen den beiden Tochterkernen hindurchgehenden Ebene in zwei gesonderte Teile zerfällt, indem zwischen denselben eine feste Lamelle von Zellstoff ausgeschieden wird, welche die neue Scheidewand zwischen den beiden nun fertigen Tochterzellen darstellt. Jede der letzteren erreicht dann durch eigenes

Fig. 3. Die Vermehrung der Zellen durch Teilung.

Aus der Zelle A werden durch Teilung die beiden Tochterzellen in B; aus B wird C, indem die Tochterzellen zunächst wieder die Größe der Mutterzelle erreichen; daraus durch abermalige Teilung D und durch weiteres Wachsen E.

In den aufeinanderfolgenden Stadien der Zellteilung von 1 bis 5 sieht man die Verteilung des Zellkernes, indem der Zellteilung eine Kernteilung (Karyokinese) vorausgeht. Er vergrößert sich zunächst zu einem spindelförmigen Körper, wobei die Kernkörperchen in die sogenannten Kernfäden übergehen (2); dann bildet sich in der Äquatorialgegend die Kernplatte (3 u. 4), aus welcher schließlich die neue Zellmembran-Scheidewand (5) hervorgeht, womit die Zellteilung vollendet ist. Nach Straßburger.

(Frank u. Tschirch, Wandtafeln XII.)

Wachstum bald wieder die Größe der ursprünglichen Mutterzelle und kann dann selbst wieder in Teilung übergehen. So wiederholt sich die Vermehrung viele Generationen hindurch, aber nur solange als die Zellen diese hier beschriebene Beschaffenheit beibehalten, durch die wie gesagt ihre Teilungsfähigkeit bedingt ist. Denn allmählich verändern sich diese Zellen in verschiedener Weise, indem sie nun erst diejenigen Beschaffenheiten annehmen, welche sie nachher während des ganzen Lebens behalten, und wie wir sie in den erwachsenen Pflanzenteilen antreffen.

Verschiedene Arten von Zellen. Die Zellen werden je nach den besonderen Verrichtungen, die sie im Leben der Pflanze zu leisten haben, entsprechend weiter umgebildet. Wir können sagen, daß jede der so mannichfaltigen Zellenarten, die wir im erwachsenen Pflanzenkörper vorfinden, durch die ihr eignen Ausbildung auf das Vollkommenste dem Dienste angepaßt ist, welchen sie im Leben der Pflanze zu leisten hat. Die einzelnen Zellenarten sind in der That die Organe der Pflanze und die Beschaffenheit derselben wird erst in ihrer Bedeutung verstanden, wenn man die Arbeit berücksichtigt, welche die Zelle für die Pflanze vollbringt. Es wird dabei klar, daß in der Pflanze eine weitgehende Arbeitsteilung besteht, indem im allgemeinen jede Zelle immer nur einer bestimmten Funktion vorsteht, für welche sie auf das Zweckmäßigste eingerichtet ist. Betrachten wir z. B. diejenigen Zellen, welche der Aufsaugung von Wasser und Nahrung aus dem Erdboden dienen sollen, wie die Wurzelhaare, oder diejenigen, welche zur Fortleitung oder Aufbewahrung von Wasser und im Wasser gelöster Stoffe bestimmt sind, wie die Zellen der saftreichen Rinde der Wurzeln, Stengel, Blattstiele, der saftigen Früchte u., so zeigen alle diese Zellen bei ziemlich dünn bleibender Zellhaut einen großen Saft Raum. Im Wasser des letzteren kann aufgelöst sein z. B. Zucker in der Rübe, Mohrrübe u., Frucht- und Traubenzucker in den Beerenfrüchten, verschiedene Pflanzen Säuren ebendasselbst, oder auch Farbstoffe (z. B. die roten in der Rübe, in den rotblättrigen Pflanzen, in vielen Blüten). Andere Zellen können wieder ganz andere Zwecke zu erfüllen haben. Dann werden im Protoplasma eigentümliche neue feste Gebilde erzeugt, die sich mehr oder weniger in der Zelle anhäufen. So sehen wir in den Zellen der grünen Blätter eine Menge Chlorophyllkörner in dem Protoplasma vorhanden; in anderen Pflanzenteilen, wie in denen der Kartoffelknollen oder der Getreidekörner giebt es Zellen, welche in ihrem Protoplasma einzig und allein Stärkemehlkörner erzeugen, mit denen sie endlich ganz erfüllt sind. Wieder in anderen Samen wird im Protoplasma gewisser Zellen fettes Öl als vorwiegendes Produkt gebildet, welches dann in Form sehr zahlreicher kleiner Kügelchen im Protoplasma verteilt ist. Und so können in manchen Zellen noch verschiedene andere Stoffe auftreten, meistens so, daß jede Art von Zellen immer nur ein oder wenige Stoffe in vorwiegender Menge erzeugt. Wir werden in der Lehre von der Stoffbildung uns überzeugen, wie dies immer mit der jeweiligen Funktion zusammenhängt, welche die betreffenden Zellenarten im Leben der Pflanze zu verrichten haben.

Bei vielen anderen Zellen ist es die Zellohant, welche auffallende Veränderungen erleidet, wodurch die betreffende Zelle für den ihr zufallenden besonderen Dienst in der Pflanze geeignet gemacht wird, während der Zellohant, insbesondere das Protoplasma, als für die betreffenden Zwecke bedeutungslos, schließlich ganz verschwindet. So nehmen gewisse Zellen, wie sie namentlich im Holze, Bast und anderen mechanischen Geweben uns entgegentreten, eine lange faserförmige Gestalt an und bekommen zugleich ungewöhnlich dicke Membranen, oft in dem Grade, daß der Innenraum der Zelle sich bis nahe zum Verschwinden verengt. Solche Zellen sind deshalb zu anderen Funktionen, insbesondere für den Dienst des Stoffwechsels so gut wie untauglich, aber sie funktionieren ausgezeichnet als festigendes Gerüst des Pflanzentörpers etwa in dem Sinne wie die Knochen im tierischen Körper.

Der die Pflanze konstruiert aus Zellen die für den Auftrieb des aus dem Erdboden aufgenommenen Wassers durch die Pflanze erforderlichen kontinuierlichen hohlen kapillaren Röhren, welche den ganzen Pflanzentörper durchlaufen, die sogenannten Gefäße, welche dadurch gebildet werden, daß in reihenförmig übereinander stehenden Zellen die trennenden Querscheidewände aufgelöst werden und durch Verschwinden des Protoplasmas und Zellsaftes ein hohles Rohr zustande kommt, auf dessen Innenwand infolge besonderer Verdickungen der Zellmembran Ringe oder spiralförmige Fasern oder leiterförmige Balken entstehen, welche zur Aussteifung des Gefäßrohrs dienen, damit es seitlichem Drucke widerstehe. Bei den Korkzellen liegt die funktionelle Bedeutung der Zelle in der chemischen Veränderung, welche hier die Zellohant angenommen hat. Diese Zellen liegen schichtenweise an der Oberfläche gewisser Pflanzenteile, auf denen sie eine den Saft des inneren Gewebes vor Verdunstung schützende Haut bilden, wozu sie eben dadurch auf das zweckmäßigste eingerichtet sind, daß die Membran dieser Zellen verkorkt ist, d. h. aus Korksubstanz besteht, welches eine wachstartige Verbindung ist, die den Durchgang von Wasser sehr verlangsamt. Diese Beispiele mögen genügen, um die große Umbildungsfähigkeit der Zellen zu den verschiedensten Zwecken zu zeigen. Wir werden bei Besprechung der einzelnen Lebensvorgänge der Pflanze alle diese Einrichtungen noch näher kennen lernen.

I. Teil.

Der Stoffwechsel der Pflanze.

In allen lebenden Pflanzen vollziehen sich chemische Prozesse, durch welche der stoffliche Bestand des Pflanzentörpers sich ändert. Die auffallendste Erscheinung dieser Art ist die Massenzunahme der wachsenden Pflanze. Hierbei handelt es sich also um Aufnahme fremder Stoffe in den Pflanzentörper, und diesen Prozeß bezeichnen wir als Ernährung. Wir sehen weiter, daß die als Nahrung aufgenommenen Stoffe in der Pflanze zu einer großen Anzahl neuer chemischer Verbindungen sich umgestalten; es sind das die vielen wertvollen Stoffe, welche uns die Pflanzen liefern. Endlich findet in der lebenden Pflanze auch stetig ein Prozeß statt, durch welchen dem Pflanzentörper Stoff verloren geht; es ist dies der Atnungsprozeß. Wir werden uns mit allen diesen Vorgängen des Stoffwechsels bekannt machen, nachdem wir zunächst das Nötige über die chemische Beschaffenheit der Pflanze überhaupt kennen gelernt haben.

1. Abschnitt.

Welches sind die chemischen Bestandteile der Pflanze?

Von den 66 sicher bekannten chemischen Elementen sind es nur höchstens folgende 15, welche allgemein am Aufbau des Pflanzentörpers beteiligt sind: 1. Kohlenstoff, ein ausnahmsloser Bestandteil aller organischen Verbindungen, aus denen die Pflanzensubstanz besteht, daher auch durch langsame Verbrennung vegetabilischer Teile, z. B. des Holzes, in großer Menge darstellbar. Beinahe die Hälfte der vegetabilischen Substanz ist Kohlenstoff. 2. Wasserstoff, eben-

falls ein Hauptbestandteil der organischen Pflanzenstoffe und des in allen Pflanzen vorhandenen Wassers. 3. Sauerstoff, das dritte konstituierende Element der meisten organischen Verbindungen und der andere Bestandteil des Wassers. 4. Stickstoff, zusammen mit den drei vorigen Elementen ein Bestandteil wichtiger organischer Verbindungen des Pflanzenkörpers, besonders der Eiweißstoffe, der Amide, vieler Alkaloide, einiger Glykoside und Fermente, außerdem auch in den Nitraten und den Ammoniumsalzen enthalten, die manchmal in den Pflanzen vorkommen. Je nach der Menge, in der diese stickstoffhaltigen Körper auftreten, giebt es stickstoffreiche und stickstoffärmere Pflanzenteile. 5. Schwefel, in allen Pflanzenteilen, wenn auch in geringen Mengen enthalten, weil Bestandteil der Eiweißstoffe. 6. Phosphor, als Bestandteil der in allen Pflanzenteilen vorkommenden Phosphorsäure, besonders in dem Nuclein, aus welchem die Zellkerne gebildet sind. 7. Chlor, in meistens sehr geringen Mengen in Form von Chloriden in allen Pflanzen. 8. Silicium, als Kieselerde fast in allen Pflanzen, wiewohl nur in wenigen in einigermaßen erheblicher Menge. 9. Kalium, allen Pflanzen in Form von Kalisalzen eigen. 10. Natrium, wie voriges allgemein verbreitet. 11. Calcium, in Form von Kalksalzen bei allen Pflanzen, bei vielen in erheblicher Menge vorhanden. 12. Magnesium, als Bittererdesalze in allen Pflanzen zu finden. 13. Eisen, in wenn auch äußerst geringen Mengen sämtlichen grünen Pflanzen eigen. 14. Mangan, wie voriges in geringen Spuren in vielen Pflanzen enthalten. 15. Aluminium, nur in den Lycopodium-Arten sicher nachgewiesen, sonst nur in so geringen Spuren zu finden, daß der Verdacht einer Verunreinigung durch äußerlich anhängenden Staub nicht ausgeschlossen ist. Außerdem sind noch gewisse Elemente auf einige Pflanzen beschränkt; so Jod und Brom in den Meer- und Meerstrandpflanzen, Fluor in den Samenschalen des Getreides. Und als zufällige Seltenheit hat man noch verschiedene andere Elemente in sehr geringen Mengen in Pflanzen, welche für gewöhnlich davon nichts enthalten, gefunden, wie Arsen, Selen, Titan, Bor, Lithium, Rubidium, Barium, Strontium, Zink, Zinn, Kobalt, Nickel, Kupfer, Blei, Thallium, Silber und Quecksilber. Dies ist natürlich nur dann möglich, wenn der Boden, auf welchem die Pflanze wuchs, zufällig Verbindungen solcher Elemente enthielt. Für das Pflanzenleben hat aber die Anwesenheit der letzteren keine Bedeutung.

In der Pflanze kommen diese Elemente selbstverständlich in Form von chemischen Verbindungen vor. Jede Pflanze und jeder Pflanzenteil läßt zunächst zweierlei Bestandteile unterscheiden: er besteht aus Wasser und aus Trockensubstanz. Beide zusammen machen das Frischgewicht der Pflanze aus. Man kann beide Bestandteile von einander trennen, wenn man den Pflanzenteil an freier Luft liegen läßt oder einer höheren Temperatur, am besten 100° C., aussetzt, wobei er das Wasser verliert und wobei endlich, wenn kein Gewichtsverlust mehr eintritt, die Trockensubstanz übrig bleibt. Der Wassergehalt der Pflanzenteile ist sehr ungleich: bei den Blättern der meisten Kräuter beträgt er 60 bis

80 pCt., bei den Sukkulenten und den saftigen Früchten 85—95 pCt., bei Wasserpflanzen, z. B. Algen, bis zu 98 pCt. Es giebt auch wasserärmere Pflanzenteile. So enthält der Holzkörper der Bäume nur 44—55 pCt., die reifen lufttrockenen Samen sogar nur wenige Prozente Wasser.

Die Trockensubstanz, welche also die gesamte feste Substanz des Pflanzenkörpers darstellt, läßt sich wieder in zwei Kategorien von Stoffen zerlegen, in die verbrennliche oder organische Substanz und in die Asche. Jede pflanzliche Trockensubstanz verbrennt nämlich und hinterläßt dabei einen weiß oder grau gefärbten unverbrennlichen Rückstand, der eben als Asche bezeichnet wird. Das durch die Flamme Zerstörte sind sämtliche organischen Verbindungen, die eigentlichen vegetabilischen Stoffe; beim Verbrennen oxydieren sie sich und zerfallen in Kohlensäure, Wasser, Stickstoff, Ammoniak, welche größtenteils sich verflüchtigen. Die Asche stellt die mineralischen Stoffe dar, welche die Pflanze aus dem Boden aufgenommen und in sich angesammelt hat. Sie besteht aus einem Gemenge von Salzen, in denen wir die oben aufgezählten Elemente finden. Doch ist die Kohlensäure, welche sich reichlich in Form kohlensaurer Salze in den Pflanzenaschen findet, erst bei der Verbrennung aus organischen Verbindungen, besonders aus organischen Säuren, entstanden; ebenso ist ein Teil der schwefelsauren Salze oder Schwefelmetalle nicht in dieser Form in der Pflanze vorhanden gewesen, sondern stammt aus dem Schwefel, den die Eiweißstoffe enthalten. Es giebt aschenreiche und aschenärmere Pflanzenteile, wie aus den unten angeführten Zahlen einiger Beispiele zu ersehen ist, wonach also im allgemeinen die Blätter die aschenreichsten Teile sind. Die Aschen der Pflanzen haben auch eine verschiedene Zusammensetzung, insofern als die relativen Mengenverhältnisse der einzelnen Aschenbestandteile sehr mannigfaltig sind; es zeigt sich aber darin bei den verschiedenen Pflanzen und Pflanzenteilen ein ziemlich konstantes Verhalten, welches je nach Standorts- und Düngungsverhältnissen nur unbedeutenden Schwankungen unterliegt. Wir können danach Pflanzen und Pflanzenteile z. B. als kalireiche, kalkreiche, kieselreiche u. unterscheiden. Es folgen hier einige Angaben über die Zusammensetzung der Pflanzen.

In 100 Teilen bei 100° getrockneter Substanz sind enthalten:

Namen der Pflanze	Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff	Stickstoff	Asche
Roggenkörner . . .	46,2	5,6	44,2	1,7	2,3
Roggenstroh . . .	49,9	5,6	40,6	0,3	3,6
Kartoffeln . . .	44,0	5,8	44,7	1,5	4,0
Kartoffelkraut . . .	44,8	5,1	30,5	2,3	17,8
Runkelrüben . . .	42,8	5,8	43,4	1,7	6,3
Runkelrübenblätter . .	38,1	5,1	30,8	4,5	21,5

In 100 Teilen Asche sind enthalten:

Namen der Pflanze	Natri (K ₂ O)	Natron (Na ₂ O)	Kalk (CaO)	Mag- nesia (MgO)	Eisen- oxyd (Fe ₂ O ₃)	Schwefel- säure (H ₂ SO ₄)	Phos- phor- säure (P ₂ O ₅)	Kiesel- oxyd (SiO ₂)	Chlor (Cl)
Roggen- körner . .	33,78	0,4	2,6	12,8	1,0	0,2	39,9	9,2	—
Roggenstroh .	17,35	0,30	9,06	2,41	1,36	0,83	3,82	64,50	0,47
Kartoffeln .	57,93	5,99	3,02	4,79	1,21	3,63	19,52	1,04	3,72
Kartoffel- kraut . .	26,42	2,86	33,73	6,17	4,40	5,18	7,48	2,49	14,59
Runkelrüben .	57,66	7,51	4,04	5,90	0,82	3,58	13,06	3,72	4,90
Runkelrüben- blätter . .	33,99	13,48	13,84	11,20	1,56	10,20	4,99	6,81	5,05

Die organische Substanz des Pflanzentkörpers besteht immer aus einer großen Anzahl organischer Verbindungen, von denen jedenfalls viele sich in allen Pflanzen wiederholen, weil sie zum Aufbau jeder einzelnen Zelle gehören. Außerdem kommen aber auch viele organische Körper vor, welche nur auf gewisse Pflanzenteile oder nur auf einige wenige Pflanzen beschränkt sind, weil sie nur von gewissen Zellen gebildet werden. Die wichtigsten organischen Pflanzenstoffe mögen hier vorläufig nur genannt sein: 1. die Kohlenhydrate, allgemein pflanzliche Bestandteile, zu denen hauptsächlich Cellulose, Stärkemehl, Inulin, Dextrin, Gummi und Pflanzenschleim, Pectin und die verschiedenen Zuckerarten gehören; 2. die vegetabilischen Säuren, besonders Oxalsäure, Äpfelsäure, Weinsäure, Citronensäure u., sowie die verschiedenen Gerbsäuren; 3. die Pflanzenfette, zu denen sowohl die verschiedenen fetten Öle, als auch die festeren Fette und das Wachs gehören; 4. die ätherischen Öle, als die riechenden Bestandteile der Pflanzen, deren es je nach Pflanzenarten eine große Anzahl giebt; 5. die Harze, nur auf gewisse Pflanzen beschränkte Stoffe, gleich dem daran sich schließenden Kautschuk; 6. die Glykoside, deren es eine ziemlich große Anzahl giebt, die aber meist auch je auf bestimmte Pflanzenarten beschränkt sind; 7. die bitteren Extraktivstoffe, von denen dasselbe gilt; 8. die Alkaloide, die wirksamen Bestandteile der Giftpflanzen, von denen jede Art meist auch ihr eigenes Alkaloid enthält; 9. die Protein- oder Eiweißstoffe, allgemeine, wichtige Pflanzenbestandteile, die Hauptträger des Stickstoffs, den gleichnamigen Substanzen des Tierkörpers gleich oder verwandt, daher auch den Nährwert der Pflanzenkost für den tierischen Organismus bedingend; 10. die Amidoverbindungen, ebenfalls stickstoffhaltige und wohl in allen Pflanzen vorkommende Stoffe, besonders Asparagin, Leucin, Tyrosin; 11. die Fermente, von denen namentlich die stärkeumbildenden (Diastase) weit verbreitet sind; 12. die Farbstoffe, die farbigen Bestandteile der Pflanzen, eine große Anzahl sehr mannichfaltiger Verbindungen, von denen aber nur wenige weitere Verbreitung im Pflanzenreiche haben, wie vor allen das Chlorophyll.

2. Abschnitt.

Wie die Pflanze die Nahrung aufnimmt.

Die Pflanze vermag nicht wie der tierische Organismus feste Stoffe in sich aufzunehmen. Ihr Körper ist auch nach außen hin durch lauter Zellen abgeschlossen, und nur Stoffe, welche die Zellhäute (S. 1) durchdringen können, sind zur Aufnahme in die Pflanze geeignet, also nur Stoffe von tropfbar flüssigem oder gasförmigem Aggregatzustande. Für die Pflanzenernährung kommen also in Betracht das Wasser, welches in der Feuchtigkeit des Erdbodens gegeben ist, und diejenigen Stoffe des Erdbodens, welche im Wasser löslich sind oder löslich gemacht werden können, andererseits aber auch Bestandteile der atmosphärischen Luft, wie Kohlensäure, Stickstoff- und Sauerstoffgas, welche von den Blättern direkt aus der Luft aufgenommen werden, während auch immer etwas von diesen Gasen in dem Wasser des Bodens absorbiert enthalten ist und also auch in wassergelöster Form der Pflanze geliefert werden könnte.

I. Die Aufnahme des Wassers und der wasserlöslichen Nährstoffe.

1. Die zur Nahrungsaufnahme bestimmten Organe.

Als die zur Aufnahme von Wasser dienenden Organe können selbstverständlich nur solche Pflanzenteile in Betracht kommen, welche beständig mit Wasser oder Feuchtigkeit in Berührung sich befinden. Bei den eigentlichen Wasserpflanzen sind sämtliche von Natur im Wasser wachsende Teile fähig, durch ihre Epidermis Wasser und mit diesem lösliche Nährstoffe aufzunehmen. Bei den Landpflanzen müssen die zur Aufnahme von Wasser und von Nahrung aus dem Erdboden bestimmten Organe selbstverständlich im Erdboden gesucht werden; aber keineswegs sind alle Organe, die sich unter der Erde befinden, zur Aufsaugung der Nahrung geschikt. Diejenigen, welche nicht mehr ihre ursprüngliche Oberhaut besitzen, sondern an deren Stelle mit einer Rorkhaut überzogen sind, müssen hiervon ausgenommen werden, weil durch ein aus Rorkzellen bestehendes Gewebe nachweislich Wasser außerordentlich schwer durchdringen kann. Dies betrifft also bei den Holzpflanzen alle einigermaßen dicken Wurzeln, weil diese einen aus Rork oder Borke bestehenden Überzug, ähnlich wie der Stamm und die Äste, besitzen; bei den perennierenden Kräutern finden wir das gleiche an den unterirdischen Stöcken und an den älteren dicken Hauptwurzeln, die wie beim Klee, der Luzerne, Esparfette, bei den Lathyrus-Arten, beim Kümmeel zc. von einer wenn auch dünnen Rorkhaut überzogen sind; dasselbe gilt von den Knollen der Kartoffel, deren Schale ebenfalls eine Rorkhaut ist, und ebenso von den Zwiebeln, deren trockene Außenschalen für Wasser nicht durchlässig sind. Alle genannten unterirdischen Organe kommen also für die Ernährung nicht in Betracht, und es bleiben somit bei allen Holz- und perennierenden Pflanzen nur die feineren Wurzelsfasern, die man deshalb auch die Saugwurzeln nennt, als nahrungsaufnehmende Organe

Fig. 4. Die Wurzel mit den Wurzelhaaren.

A. Keimpflanze vom Raps mit den Wurzelhaaren h h an der Hauptwurzel. Dieselben werden nach der Wurzelspitze hin immer jünger und kürzer und hören endlich auf; das Stück von h bis s ist noch ohne Wurzelhaare.

B. Dieselbe Keimpflanze mit dem durch die Wurzelhaare festgehaltenen Böschchen von Bodenteilchen, welche die Wurzel dicht umhüllen.

C. Wurzeln einer Getreidepflanze, die jüngeren Wurzelzweige ebenfalls mit der durch die Wurzelhaare festgehaltenen Bodenumhüllung.

D. Querschnitt einer Wurzel mit ihren aus der Epidermis entspringenden Wurzelhaaren, deren Verwachsung mit Bodenteilchen deutlich sichtbar ist; an den betreffenden Stellen ist das Wurzelhaar gewöhnlich mehr oder weniger angeschwollen, legt sich mit breiteren Flächen den Bodenpartikeln an oder umklammert sie.

(Frank u. Tschirch, Wandtafeln II.)

übrig, während bei den einjährigen Pflanzen eigentlich sämtliche Wurzeln, allenfalls die dickeren Teile der Pfahlwurzel, wo eine solche vorhanden ist, abgerechnet, wie Saugwurzeln organisiert sind.

Die Saugwurzeln haben nirgends wirkliche Öffnungen, sondern ihre ganze Oberfläche wird von einer Schicht lückenlos verbundener Zellen bedeckt, welche die Oberhaut oder Epidermis der Wurzel ausmachen: durch diese gelangt alle Nahrung in die Wurzel. Die Wurzelepidermis ist also das eigentliche Aufnahmeorgan und darum hat sie auch eine ganz besondere hierzu geeignete Beschaffenheit. Ihre Zellen enthalten einen großen wasserfassenden Saft Raum, der nur von einem dünnen Protoplasmasaft umgeben ist, und auch die Membran dieser Zellen ist immer verhältnismäßig dünn. Von ganz besonderer Bedeutung ist, daß überdies fast jede dieser Wurzelepidermiszellen nach außen hin in einen sehr langen Schlauch auswächst. Dadurch entstehen die Wurzelhaare, mit welchen die Wurzeln fast aller Landpflanzen in zahlloser Menge bekleidet sind. Jedes Wurzelhaar ist nichts anderes als eine Erweiterung einer Oberhautzelle, und zwar von einer Länge, die oft den Querdurchmesser der ganzen Wurzel übertrifft; es wächst an seiner Spitze und drängt sich so in die Lücken des Bodens hinein, zeigt daher gewöhnlich sehr unregelmäßige Krümmungen (Fig. 4 D). Es ist also klar, daß durch die Wurzelhaare die auffangende Oberfläche der Wurzel ungeheuer vergrößert wird, in dem die Wurzel dadurch auch aus ihrer Umgebung soweit als die Wurzelhaare vordringen, Nahrung heranholen kann, und der dadurch bedeutend erweiterte Saft Raum der Epidermiszellen auch umsomehr Wasser zu bergen vermag. Die Wurzelhaare zeigen auch noch eine Eigentümlichkeit: ihre Membran verwächst an zahlreichen Punkten mit kleinen Erdbodenteilschen so innig, daß eher das Haar zerreißt, als sich davon befreien läßt: die Pflanze ist also mit ihren Wurzeln an unzähligen Punkten thatsfächlich mit dem Erdboden zusammengewachsen. Beim Verpflanzen werden die meisten dieser zarten Haare abgerissen, darum leidet infolge dessen die Wasseraufnahme, bis wieder neue Wurzeln mit neuen Wurzelhaaren gebildet sind, die Pflanze welkt vorübergehend. Beim vorsichtigen Ausheben der Wurzeln aus dem Boden bleiben dieselben, soweit sie mit Wurzelhaaren besetzt sind, von einem dicken Höschen von Erde umhüllt (Fig. 4 B u. C), weil die meisten Wurzelhaare dann nicht abreißen, sondern ihren Erdanhang mitnehmen. Das feste Verwachsensein der Wurzelhaare mit den Erdbodenteilschen beruht darauf, daß die äußerste Hautschicht des Wurzelhaares eine mehr gallertartige Beschaffenheit besitzt und daher alle jene kleinen Partikelschen gewissermaßen an das Haar angeleimt sind. Diese denkbare innigste Vereinigung zwischen der Membran der Wurzelhaare und der Substanz des Erdbodens ist jedenfalls auch von großer Bedeutung bei der Erwerbung der Nährstoffe aus dem Boden und besonders bezüglich der unten zu besprechenden Kräfte, welche die Wurzeln dem Erdboden gegenüber an den Tag legen. Wurzelhaare sind fast bei allen in gewöhnlicher Weise selbständig sich ernährenden Landpflanzen vorhanden; doch fehlen sie z. B. bei den meisten Zwiebelgewächsen.

Die Wurzelspitze leistet bei der Nahrungsaufnahme gar nichts, sie stellt den Vegetationspunkt dar und dient also nur dem Wachsen der Wurzel, wie unten beschrieben werden wird; ihre Zellen sind noch sehr klein und haben keinen wasserfassenden Saft Raum, auch sind sie noch nicht zu Wurzelhaaren ausgewachsen; die Wurzelspitzen ragen daher immer nackt aus den Erdbodenhöhlen hervor, mit welchen die Wurzel beim Ausnehmen aus der Erde umkleidet erscheint (Fig. 4A h bis s).

Die Art, wie die Gesamtheit der Saugwurzeln an jeder Pflanze angeordnet ist, zeigt etwas Planmäßiges, das auf genügende Versorgung der Pflanze und auf möglichste Ausnutzung des Bodens berechnet erscheint. Viele Dikotylen, besonders Leguminosen, Cruciferen, Umbelliferen und viele andere besitzen eine einzige Hauptwurzel, die sogenannte Pfahlwurzel. Dieselbe vertikal abwärts wachsend, erschließt die verschiedenen Tiefen des Bodens. Bei den Monokotylen, also z. B. beim Getreide, und auch bei manchen Stauden der Dikotylen, wird keine Hauptwurzel gebildet, sondern die ganze Bewurzelung kommt hier durch Nebenwurzeln zustande, welche aus den unteren im Erdboden befindlichen Teilen des Stengels hervorstechen. Gewöhnlich entspringen dann aus einer Pflanze eine Menge Nebenwurzeln, deren jede, wie sonst die Hauptwurzel, senkrecht und mehr oder weniger tief in den Boden eindringt. Je nach der Tiefe, bis zu welcher die Hauptwurzel, beziehentlich die Nebenwurzeln in den Boden eindringen, spricht man von Tiefwurzeln und Flachwurzeln. In Wahrheit ist jedoch dieser Unterschied nicht so groß, wie gewöhnlich angenommen wird. Unter den Leguminosen, welche man zu den ersteren rechnet, erreichen allerdings z. B. Luzerne, *Lathyrus sylvestris* u. a. mit den Hauptwurzeln bis 3 m Tiefe und darüber: die gelbe Lupine geht durchschnittlich 1 m tief; aber auch beim Winterroggen, weißen Senf u. erreichen die untersten Wurzelsenden 1 m Tiefe und darüber. Immerhin ist bei den meisten dieser Pflanzen die Hauptwurzelmasse, welche durch die Verzweigungen in Seitenwurzeln bedingt wird, in der oberen humusreicheren Bodenschicht bis etwa 30 oder 40 cm Tiefe vertreten, so daß bei Austrocknung des Bodens innerhalb dieses Bereiches Wassermangel für die Pflanze eintreten kann. Auch wird bisweilen durch äußere Umstände der Tiefgang der Wurzeln selbst bei tiefwurzelligen Pflanzen verhindert, so z. B. durch ungeeigneten Untergrund, durch sehr nassen Moorboden, wo die Wurzeln sich alle nur ganz oberflächlich halten. An allen Hauptwurzeln und den meisten Nebenwurzeln entstehen nun in absteigender Folge die Seitenwurzeln, welche in horizontaler oder schief abwärts gehender Richtung sich ausbreiten und also die umliegenden Teile des Bodens in den einzelnen Tiefen ebenfalls ausnutzen. Dies geschieht rings um den Standpunkt der Pflanze gleich, weil die Seitenwurzeln regelmäßig in 2, 3, oder 4 gleich weit von einander abstehenden Längsreihen aus der Hauptwurzel entspringen. Mitunter breiten sich diese Wurzeln weit zur Seite aus, namentlich in der oberen Bodenschicht, wo sie bei vielen Pflanzen weiter reichen als oben die Blätter; bei den Bäumen gehen sie meist soweit, als wie der Umfang der

Krone reicht oder etwas darüber hinaus; viel weiter reichen z. B. die Wurzeln der Chauffepappeln und der Kiefern ins Land hinaus. Jedenfalls aber verzweigen sich die Seitenwurzeln ihrerseits wieder in Seitenwurzeln zweiter Ordnung, diese wiederum u., wodurch weil diese Wurzelzweige nur so dick wie ganz dünne Fäden sind, der Boden förmlich wie ein Filz von Wurzelmasse durchwuchert sein kann, wenigstens in den oberen Bodenschichten, wo wegen des größeren Reichthums an Nährstoffen diese reichere Verwurzelung für die Pflanze auch am vorteilhaftesten ist. Wenn man alle Wurzeln einer Getreidepflanze u. dergl. nach ihrer ganzen linearen Länge berechnet, so erhält man viele Hunderte von Metern. Es giebt dies eine Vorstellung davon, wie gründlich die Pflanze an ihrem Standort den Erdboden behufs Erwerbung von Wasser und Nährstoffen durchzieht.

Die Möglichkeit, daß auch oberirdische Pflanzenteile, namentlich Blätter, tropfbarflüssiges Wasser auffangen, wenn sie davon benetzt sind, ist zuzugeben. Wenn man z. B. einen abgeschnittenen beblätterten Baumzweig statt mit der Schnittfläche nur mit einigen seiner Blätter in Wasser getaucht stehen läßt, so bleiben die an der Luft befindlichen andern Blätter ungewelkt. Indessen ist die Benetzbarkeit vieler Blätter durch Regen oder Tau eine beschränkte, indem wegen der fettartigen Beschaffenheit oder des wachsartigen Überzuges der Cuticula das Wasser von derselben abrinnt und sich höchstens auf den durch die Rippen und Nerven gebildeten, leichter benegbaren Vertiefungen der Oberseite des Blattes oder an den Gelenken der Blattbasis erhält. Daß, wenn in solchem Wasser Stoffe gelöst sind, z. B. Nitrat oder Ammoniaksalz, solche mitaufgenommen werden, ist nachgewiesen. Das in den Blatttrögen der Staudenpflanze sich ansammelnde Regenwasser kann von der Pflanze aufgesogen und dem darüberstehenden Stengelstücke zugeführt werden.

2. Die Gesetze der Nahrungsaufnahme.

Alle Nahrung gelangt nur durch Osmose in die Zellen der Wurzel-epidermis und von diesen nach den inneren Zellen der Wurzel. Unter Osmose oder Diösmose versteht die Physik folgende Erscheinung: Wenn zwei verschiedene Flüssigkeiten durch Häute getrennt sind, welche durchdringbar (imbibitionsfähig, (S. 1) sind für eine von beiden Flüssigkeiten oder für beide, so tritt eine Bewegung der einen Flüssigkeit durch die Haut hindurch nach der anderen ein, es mischen sich beide Flüssigkeiten und die Bewegung muß so lange fortgehen, als auf beiden Seiten der Haut eine ungleiche Zusammensetzung von Flüssigkeiten besteht. Die Betrachtung unserer Fig. 5 überzeugt uns, daß jede mit Zellsaft erfüllte Zelle ein osmotisch wirksamer Apparat ist: der Zellsaft stellt die eine der beiden verschiedenen Flüssigkeiten, die Zellhaut und der Protoplasmasack die trennende Haut dar; wenn also außerhalb der Zelle eine andere Flüssigkeit sich befindet, z. B. das Wasser des angrenzenden Erdbodens, so muß Osmose eintreten. Wenn ich z. B. auf der einen Seite Zuckerslösung, auf der anderen reines Wasser oder Brunnenwasser habe, beide durch eine Membran getrennt, so

sehe ich, daß fortwährend Wasser nach der Zuckertlösung diosmiert und die letztere immer mehr an Volumen zunimmt. So muß man sich auch die Aufnahme des Wassers in die Zellen der Wurzelepidermis und der Wurzelhaare vorstellen. Denn diese Zellen sind besonders als osmotisch wirksame Apparate konstruiert, wie ihre oben gegebene Beschreibung erkennen läßt: sie haben eine dünne, für Wasser und für Lösungen derjenigen Nährsalze, welche in der Bodenfeuchtigkeit aufgelöst sind, leicht durchdringbare Membran und einen nur äußerst dünnen, eben so leicht durchlässigen Protoplasmasack, aber einen geräumigen, viel Saft fassenden Innenraum und enthalten in diesem Saft gewisse organische Verbindungen, welche Wasser von außen osmotisch in die Zelle einsaugen. Dieselben diosmotischen Eigenschaften wie die Wurzelepidermiszellen haben auch die nach innen zu an jeine angrenzenden Wurzelzellen. Daher können Stoffe, welche von außen in die Wurzelepidermiszellen aufgenommen worden sind, ebenso diosmotisch auch in die anderen Zellen der Pflanze weiter geleitet werden.

Dagegen kann nicht beliebig jede von denjenigen organischen Verbindungen, welche erst innerhalb der Zelle entstanden und als Lösungen im Zellsaft vorhanden sind, durch Diosmose aus der Zelle entweichen. Das Protoplasma läßt nämlich sehr viele organische Verbindungen nicht durch sich hindurch diosmieren, ist also unfähig dergleichen von außen in die Zelle einzulassen, während es umgekehrt die Fähigkeit besitzt, dieselben, wenn sie innerhalb des Zellsaftes erzeugt worden

sind, in den Zellen zurückzuhalten. In dieser Beziehung hat das Protoplasma der verschiedenen Zellen jedenfalls verschiedene Eigenschaften, die aber mit den physiologischen Funktionen der betreffenden Zellen in einem zweckmäßigen Zusammenhang zu stehen scheinen. Bei den Zellen der inneren Gewebe der Pflanze, welche zur Fortleitung von Pflanzenstoffen dienen, werden gewisse organische Verbindungen, wie z. B. Traubenzucker und Amide, sowohl vom Protoplasma als auch von der Zellmembran durchgelassen und diosmieren von Zelle zu Zelle. Aber andere Verbindungen läßt daselbe Protoplasma, solange es im lebenden Zustande sich befindet, nicht durch sich hindurch und bannt sie daher in der Zelle fest. Dies ist z. B. bei den mit Chlorophyll versehenen Zellen der Blätter der Fall in Bezug auf die freien Pflanzen Säuren, die oft in den Zellsäften

Fig. 5. Schema der endosmotisch wirksamen Zelle.

m die Zellmembran, p der aus dem Protoplasma bestehende Hohl sack, s der Saft Raum. Der besseren Unterscheidung wegen ist das Protoplasma etwas von der Zellmembran absteigend gezeichnet; in Wirklichkeit liegt es derselben dicht an.

auftreten. Durch Säuren wird nämlich das Chlorophyll sehr schnell verändert, wenn es mit ihnen in Berührung kommt; da nun aber die Chlorophyllkörner, welche immer im Protoplasma eingebettet liegen, auch in denjenigen Zellen, die stark saure Säfte haben, sich solange, als diese Zellen am Leben sind, unverändert grün erhalten, so beweist dies, daß ihr Protoplasma die Säure nicht in sich aufnimmt, sondern sie im Cellaum zurückhält. Ebenso ist es mit den löslichen Farbstoffen, welche manche Pflanzenzellen in ihrem Zellsafte aufgelöst enthalten, wie die roten oder blauen bei Rüben, Rohl u.: sie werden von dem lebenden Protoplasma an der Diosmose aus der Zelle verhindert, denn diese Pflanzenteile geben im lebenden Zustande ihren Farbstoff nicht an Wasser ab, und im Zellgewebe liegen oft farbstoffführende Zellen unmittelbar in der Nachbarschaft völlig farbloser Zellen. Man sieht, wie aus diesen diosmotischen Eigenschaften der Zelle sich nicht bloß die Aufnahme und die Fortleitung der Stoffe, sondern auch die Verteilung und Zurückhaltung gewisser anderer Stoffe in bestimmten Teilen der Pflanze erklärt.

Mit dem Tode des Protoplasmas ändern sich auch seine diosmotischen Eigenschaften, indem dann manche der im lebenden Zustande nicht diffundierenden Lösungen, wie diejenigen von Säuren und Farbstoffen, ungehindert diosmieren. Daher die bekannte Erscheinung, daß durch Frost oder Hitze getötete Pflanzenteile beim Einlegen in Wasser jene Stoffe an das letztere abgeben.

Es ist nun auch unschwer einzusehen, daß Wasser und im Wasser gelöste Nährsalze des Bodens in immer neuen Mengen in die Wurzelzellen eindringen müssen, indem ja immer neuer Platz dafür geschaffen wird. Denn die Landpflanze verliert fortdauernd wieder Wasser durch Transpiration an die Luft, und die Nährsalze werden ja nicht bloß an die entfernter liegenden Zellen weiter gegeben, sondern schließlich in den Säften der Zellen überhaupt verarbeitet, d. h. in andere Stoffe umgewandelt, verschwinden also als solche in denselben immer wieder, so daß also damit die osmotische Möglichkeit weiterer Aufnahme des betreffenden Nährstoffes immer wieder hergestellt wird. Es ist unter diesen Umständen sogar möglich, daß von einem im Boden oder in einer Nährstofflösung vorhandenen Nährstoff alles bis auf die letzte Spur in die Pflanze aufgenommen werden kann.

Die Wurzelthätigkeiten. Die Beobachtung lehrt uns, daß die Wurzeln bei der Nahrungsaufnahme verschiedene wichtige Thätigkeiten ausüben. Dieselben lassen sich einerseits leicht aus den besprochenen osmotischen Gesetzen der Nahrungsaufnahme erklären, anderenteils zeigen sie uns, daß die lebende Wurzel auch noch besondere für die Nahrungserwerbung bedeutsame Kräfte besitzt. Sie sollen im Folgenden erläutert werden.

a) Die Wurzel hat ein Wahlvermögen. Da ein ungleicher Verbrauch der verschiedenen aufgenommenen Nährstoffe in der Pflanze stattfindet, so begreifen wir, warum dieselben in ungleichen und in anderen relativen Mengenverhältnissen in die Pflanze eintreten, als sie ihr von außen geboten sind, mit anderen Worten,

daß die Pflanze dabei ein Wahlvermögen an den Tag legt. Man kann sich davon am leichtesten und klarsten überzeugen, wenn man die Pflanzen statt in Erde in Nährstofflösungen wachsen läßt, d. h. in Wasser, in welchem gewisse Salze aufgelöst sind. Aus der Zusammensetzung der Lösung, die nach einiger Zeit zurückbleibt, sieht man nun, daß die Pflanze die Bestandteile derselben in anderen Mengenverhältnissen aufgenommen hat. Das zeigt sich erstens in dem Verhältnis zwischen Wasser und Gelöstem überhaupt. Hat man die Lösung nicht sehr verdünnt gemacht, so nimmt die Pflanze relativ mehr Wasser als feste Teile auf oder, wie man es auch ausdrücken kann, sie zerlegt die Lösung in eine verdünntere und in eine konzentrierte, nimmt die erstere auf und läßt die letztere zurück. Das ist die einfache Folge des starken Wasserverbrauchs, den die Pflanze infolge der Transpiration ihrer in der Luft befindlichen Teile hat. Für die meisten Landpflanzen mit lebhafter Verdunstung ist etwa eine Konzentration der Nährstofflösung von 1—5 pro mille dem wirklichen relativen Bedürfnis an Wasser und an fester Substanz entsprechend; je näher man das wahre Verhältnis trifft, um so mehr sieht man die Flüssigkeit in gleichbleibender Konzentration von der Pflanze verbraucht werden. Das Verhältnis bei der Aufnahme kann sich aber auch umkehren, wenn das Bedürfnis an Wasser im Verhältnis zum Gelöstem geringer ist: also entweder wenn man der Pflanze eine noch viel verdünntere Lösung darbietet, oder aber wenn der Wasserverbrauch der Pflanze, mit anderen Worten ihre Transpiration, sehr vermindert wird, also beim Wachsen in dampfgesättigter Luft, oder bei den untergetaucht wachsenden Wasserpflanzen. Aber auch in dem Verhältnis der gelösten Stoffe untereinander macht die Pflanze ihr Wahlvermögen geltend, und zwar legt darin jede Pflanzenart ihr besonderes Verlangen an den Tag. Probiert man bei einer und derselben Pflanzenart verschiedene Salze, die man ihr in einer jeweils gleich konzentrierten Lösung darbietet oder die man in gleichen Mengen zusammen auflöst und gleichzeitig verabreicht, so nimmt sie ungleiche Mengen dieser Salze auf. So nehmen aus einer Lösung von gleichen Teilen Kaliumnitrat und Chlornatrium z. B. *Mercurialis annua* und *Chenopodium viride* viel von dem ersteren und wenig von dem letzteren auf, während *Satureja* und *Lycopersicum* das Umgekehrte thun. Sehr schlagend tritt das Wahlvermögen der Pflanze auch in dem Umstande hervor, daß die auf einem und demselben Boden wachsenden verschiedenartigen Pflanzen eine sehr ungleiche Zusammensetzung ihrer Asche zeigen, die für die einzelnen Pflanzenarten charakteristisch ist, indem bei den einen dieser, bei den andern jener Aschenbestandteil in vorwiegender Menge auftritt; so giebt es z. B. kieselreiche und kieselarme, kalkreiche und kalkarme Pflanzenspezies, die diese Eigenschaften zeigen, auch wenn sie nebeneinander auf demselben Boden wachsen. Manche Pflanzen haben die Eigentümlichkeit, gewisse Stoffe, auch wenn dieselben in überaus spärlicher Menge vorhanden sind, nach und nach in sich anzuhäufen, wie z. B. die Meerpflanzen das im Meerwasser in geringen Spuren vorhandene Jod, welches

in diesen Pflanzen so reichlich enthalten ist, daß man es aus ihrer Asche gewinnt. Alles dieses läßt sich aus den Gesetzen der Diösmose ableiten, wenn man annimmt, daß die eine Pflanze von diesem, die andere von jenem Stoffe eine besonders große Verwendung zu machen pflegt, wenn uns auch die Art der Verwendung noch nicht überall erkennbar und verständlich erscheint. Aber ebenso aus den Gesetzen der Diösmose und des Verbrauches der Stoffe in der Pflanze erklärbar ist es, daß die charakteristische Zusammensetzung der Asche der einzelnen Pflanzenarten sich doch einigermaßen auf den verschiedenen Bodenarten oder nach verschiedenen Düngungen ändert. Man vergleiche z. B. eine und dieselbe Pflanze auf kalkreichem Kalkboden und auf kalkarmem und kalkreicherem Thonboden. So enthielten z. B. in Prozenten der Asche

		Kalk	Kali
Brassica napus	auf Kalkboden	43,60	12,34
	auf Thonboden	19,48	25,42
Trifolium pratense	auf Kalkboden	43,32	9,60
	auf Thonboden	29,72	27,20.

Ebenso ist festgestellt, daß in künstlichen Bodengemischen z. B. Rübenpflanzen, wenn ihnen eine Düngung mit viel Kali und wenig Natron und zum Vergleich eine solche mit wenig Kali und viel Natron gegeben wird, die Pflanzen des ersteren Versuches mehr Kali als die des letzteren in ihrer Asche enthalten und dafür sich umgekehrt im Natrongehalte erweisen.

Eine solche teilweise Vertretung eines Metalles durch ein anderes in der Asche der Pflanze hat nichts auffallendes, sondern ist sogar selbstverständlich, sobald man bedenkt, daß die als wichtige Nahrungsmittel von der Pflanze begehrten Säuren, wie Salpetersäure, Phosphorsäure, Schwefelsäure, welche ja nur in Form von Salzen in die Pflanze gelangen können, je nach Umständen bald mehr an Kalk, bald mehr an Kali oder eine andere Base gebunden vorhanden sind. Bei einem besonders großen Bedarf nach einer oder mehreren dieser Säuren wird also von einem großen Quantum aufgenommener salzartiger Verbindungen nur der eine Teil, nämlich die Säure wirklich verbraucht; der basische Teil, welcher auch mit aufgenommen wird, muß sich dann in der Pflanze irgendwo anhäufen, ohne daß man sagen dürfte, er wäre in dieser Menge als solcher wirklich gebraucht worden. Denn eine Wiederauscheidung eines nicht weiter brauchbaren mineralischen Stoffes aus der Pflanze findet, abgesehen von untergeordneten Erscheinungen dieser Art, die wir unten bei der Stoffbildung besprechen werden, nicht statt.

b) Die Wurzel überwindet die wasserhaltende Kraft des Erdbodens. Das Wasser wird bekanntlich im Erdboden durch Adhäsion mit solcher Kraft festgehalten, daß es weder durch sein eigenes Gewicht dem Boden entflieht, noch auch durch Druck daraus entfernt werden kann. Aber die Pflanze entzieht dem Erdboden einen Teil des so fest gehaltenen Wassers, wie wir daraus er-

kennen, daß die Pflanzen, die ja fortwährend an der Luft transpirieren, noch immer frisch bleiben selbst auf einem Boden, der schon den Eindruck von ziemlicher Trockenheit macht. Je mehr der Boden allmählich Wasser verliert, desto fester hält er die letzten Feuchtigkeitsreste zurück; und diesen Kräften gegenüber erreicht endlich auch die Kraft der Wurzelabsaugung ihre Grenze; man erkennt das am Welkwerden der Pflanze. Bei der Tabakpflanze z. B. tritt das ein in Gartenerde, wenn diese noch 12 pCt., in Lehmboden, wenn dieser noch 8 pCt., in grobkörnigem Sand, wenn dieser noch 1,5 pCt. des Trockengewichtes an Wasser enthält. Einwirkungen, welche die Lebensthätigkeit überhaupt ungünstig beeinflussen, schwächen auch diese Kraft der Wurzeln; z. B. wenn man dem Boden und den Wurzeln Sauerstoff entzieht: auch Temperaturniedrigung kann diese Folge haben; für Tabak und Kürbis ist schon bei einer Abkühlung des Bodens auf $+ 3,7$ bis 5° C. die Wurzelthätigkeit so schwach, daß die Pflanzen zu welken beginnen, auch wenn der Boden reichlich Wasser enthält: Brassica-Arten dagegen und andere einheimische oder völlig akklimatisierte Pflanzen saugen noch immer genügend auf selbst bei 0° Bodentemperatur, denn diese Pflanzen fangen auch dann noch nicht an zu welken.

c) Die Wurzel überwindet die Absorptionskräfte des Bodens, d. h. die Fähigkeit des letzteren, im Wasser gelöste Stoffe so festzuhalten, daß dieselben in dem Wasser, wenn es den Boden passiert hat, nicht mehr vorhanden sind. Es bezieht sich dies besonders auf gewisse organische Substanzen, namentlich auf die gelösten Bestandteile der Jauche, der Kloakenwässer u., ferner auf Ammoniak, Kali, Natron, Kalk, Magnesia, Phosphorsäure, während salpetersaure und schwefelsaure Salze so gut wie garnicht vom Erdboden absorbiert werden. Die Pflanze würde jene wichtigen Nährstoffe nicht erwerben können, wenn sie dieselben nicht den Absorptionskräften des Bodens zu entreißen vermöchte.

d) Die Wurzel besitzt eine auflösende oder aufschließende Kraft gegenüber gewissen unlöslichen festen Bestandteilen des Bodens. Man kann dies z. B. dadurch sehr anschaulich machen, daß man auf einer blankpolierten Marmorplatte, welche mit Erde, in der Pflanzen wachsen, bedeckt ist, die Wurzeln sich ausbreiten läßt; der Marmor erscheint dann nach einiger Zeit an den Stellen, wo ihn die Wurzeln und Wurzelhaare berührten, wie geätzt, zeigt also dem Wurzel Laufe folgende Corrosionsbilder. Dies wird auch durch die Thatsache bestätigt, daß felsiger Untergrund von Pflanzenwurzeln teilweise aufgelöst und durchlöchert wird. Wahrscheinlich können verschiedenartige unlösliche mineralische Stoffe auf diese Weise von der Pflanzenwurzel aufgeschlossen werden, und vielleicht erstreckt sich dies auch auf gewisse feste organische Stoffe, wie sie z. B. im Humus enthalten sind. Es rührt dies her von den Wurzelabscheidungen. Die Wurzel haucht zwar wie alle atmenden Pflanzenteile Kohlensäure aus: sie scheidet aber auch eine nicht flüchtige, organische Säure ab, welche aus den Epidermiszellen durch die Membranen nach außen diffundiert; denn man kann sie durch Not-

werden von blauem Lackmuspapier nachweisen, wenn die Wurzeln zwischen solchem wachsen; ihr ist offenbar die auflösende Wirkung der lebenden Wurzeln zuzuschreiben. Wir sehen also hieraus, daß nicht bloß den in Wasser löslichen Bestandteilen des Erdbodens ein Nährwert für die Pflanze zukommt, sondern daß die letztere durch ihre Wurzelabscheidung feste Gemengteile des Bodens aufzuschließen und dadurch für sich aufnehmbar zu machen vermag. Die oben beschriebene Verwachsung der Wurzelhaare mit den feinen festen Teilchen des Erdbodens mag wohl für das Zustandekommen dieser Wirkungen der Wurzel besonders günstig sein. Sehr auffallend tritt die Fähigkeit, feste Stoffe aufzulösen, bei den zur Nahrungsaufnahme bestimmten Myceliumfäden vieler Pilze hervor, denn diese durchbohren z. B. die festen Zellmembranen des Holzes nach allen Richtungen, zerfressen Stärkemehlkörner, zertrümmern die festen Überreste von Pflanzenteilen im Humus u. und dringen, soweit sie zu den Parasiten gehören, durch Zellmembranen lebender Pflanzen oder durch Hartgebilde des tierischen Körpers.

II. Die Verdunstung oder Transpiration der Pflanze.

Alle Landpflanzen scheiden aus ihren an der Luft befindlichen Teilen Wasserdampf aus. Natürlicherweise hört das auf, wenn die Luft selbst völlig mit Wasserdampf gesättigt ist. Aber je trockener die Luft ist, desto stärker transpiriert auch die Pflanze. Diesen Wasserverlust ersetzt sie immer wieder durch Aufnahme neuen Wassers mittelst der Wurzeln. Vermag sie dies nicht wegen Trockenheit des Bodens oder wegen Wurzelbeschädigungen, so nimmt ihr Wassergehalt ab, was sich mehr oder weniger durch Welkwerden der Pflanze anzeigt. Ist der Wassergehalt der Zelle unter ein bestimmtes Maß gesunken, so stirbt das Protoplasma: eine aus diesem Grunde abgestorbene Pflanze kann selbstverständlich durch Begießen nicht mehr gerettet werden. Das von den Wurzeln beständig aufgenommene Wasser enthält immer zugleich Nährstoffe des Erdbodens aufgelöst; das durch Verdunstung abgegebene ist aber reines Wasser. Es behält also die Pflanze die mit dem Wasser aufgenommenen Nährstoffe zurück, während sie des größten Teiles des Wassers durch Verdunstung sich immer wieder entledigt. Die Transpiration ist also ein wichtiges Hilfsmittel, um die Nährstoffe aus dem Boden in die Pflanze und besonders in deren oberirdische Teile zu führen.

Die Größe der Verdunstung einer Pflanze kann man auf verschiedene Art messen, entweder durch wiederholtes Wägen der abgeschnittenen Pflanze oder durch Wägen der in einem Plumentopf eingewurzelten Pflanze, wenn dabei der ganze Topf nebst Inhalt durch eine passende Umhüllung aus Metall oder dergleichen an der eigenen Verdunstung gehindert ist, während nur die Pflanze selbst transpiriert, oder auch durch die allmähliche Abnahme des Wasservolums, in welches eine transpirierende Pflanze eintaucht. Da bei den Landpflanzen die Blätter, überhaupt die grünen Organe den wesentlichen Teil der Oberfläche des in der

Luft befindlichen Theiles des Pflanzentörpers ausmachen, so kann man sagen, daß bei einer und derselben Pflanze die Verdunstungsmenge, also ihr Wasserbedarf, proportional ist der Größe ihrer Blattoberflächen. In der That läßt sich durch Messung der Transpiration nachweisen, daß, wenn man einer Pflanze die Hälfte ihrer Blätter abschneidet, sie dann auch nur ungefähr halb soviel Wasser verbraucht. Eine und dieselbe Pflanze verdunstet und verbraucht also umso mehr Wasser, je zahlreichere und je größere Blätter sie hat.

Regulierung der Verdunstungsstärke durch die Organisation der Pflanze selbst. Keine Pflanze verdunstet im lebenden Zustande so stark wie eine Wasseroberfläche oder ein toter wasserhaltiger Körper von gleichgroßer Oberfläche. Die Geschwindigkeit der Transpiration wird also verlangsamt und reguliert durch gewisse natürliche Einrichtungen und Lebensthätigkeiten der Pflanze. Wir wissen, daß die Hautgewebe der Pflanze, durch welche ja der Wasserdampf entweicht, eine Reihe von Eigenschaften besitzen, welche hierbei maßgebend sind.

An allen grünen Teilen stellt die Epidermis das Hautgewebe dar. In ihr ist zunächst die Gegenwart der Spaltöffnungen ein Faktor, welcher die Transpiration beeinflusst. Denn diese Apparate, welche wir näher unten bei der Aufnahme der gasförmigen Nährstoffe in die Pflanze kennen lernen werden, sind die Ventilationswege, mittelst deren das Interellularsystem, welches das Innere der Pflanze durchzieht, nach außen geöffnet ist, und durch welche Gase, folglich auch Wasserdampf, aus dem Inneren nach außen geleitet werden. Die Häufigkeit der Spaltöffnungen ist auf den verschiedenen Pflanzenteilen und Pflanzen sehr ungleich, wie wir unten sehen werden, und damit hängt zum Teil die verschieden starke Transpiration zusammen. Allein das verdunstende Wasser entweicht keineswegs allein durch die Spaltöffnungen, wie schon daraus hervorgeht, daß Pflanzenteile ohne alle Spaltöffnungen, wie z. B. die Moose, ferner viele Blumenblätter, sowie die meist spaltöffnungsfreie Oberseite der grünen Blätter trotzdem lebhaft transpirieren. Die Hauptmasse des verdunstenden Wassers wird jedenfalls durch die Epidermiszellen selbst an die Luft abgegeben. Diese enthalten ja auch in ihrem ganzen Innenraum, abgesehen von der meist dünnen wandständigen Protoplasmaschicht, keinerlei Einschlüsse, sondern nur klares Wasser (Fig. 16 u. 17); sie stellen also selbst eine Art Wasserreservoir dar, welches aus seinem eigenen Vorrat das Verdunstungswasser liefert und dadurch die inneren Gewebe zunächst vor Wasserverlust schützt. An den Epidermiszellen selbst (Fig. 6) wirkt nun vor allen Dingen als verdunstungsregulierend die Cuticula. So nennen wir eine äußerste Membranschicht, welche die Außenwände der Epidermiszellen aller Pflanzen aufweist und mit welcher also gleichsam die ganze Oberfläche der Pflanze überzogen ist. Sie hat eine andere chemische Natur als der übrige Teil der Zellmembran, indem sie nicht aus Cellulose, sondern aus Cuticularsubstanz, einem wachsartigen, mit der Korksubstanz verwandten Stoffe, besteht, dem die wichtige physikalische Eigenschaft zukommt, daß Wasser durch ihn schwerer

und langsamer hindurchgeht, als durch gewöhnliche aus Cellulose bestehende Zellmembranen. Es ist somit begreiflich, daß die Cuticula nicht nur an und für sich die Transpiration einschränkt, sondern daß sie dies in um so stärkerem Grade thut, je dicker sie an einem Pflanzenteile ausgebildet ist. In der That erscheint sie an weichen zarten Blättern mit lebhafter Transpiration dünner als an

Fig. 6. Cuticula und Cuticularschichten.

1. Längsschnitt durch Epidermiszellen von *Ruscus aculeatus*, deren hart verdickte Außenwand zu äußerst eine sehr dicke Cuticula *c* und darunter noch eine stofflich gleichbeschaffene Cuticularschicht *y* zeigt, während der übrige Teil der Zellwände aus unveränderter Cellulose besteht, *z* Interzellulargang.

2. Längsschnitt durch Epidermiszellen *e* des jungen Stengels von *Helianthus annuus*, wo die Außenwand nur eine dünne Cuticula *c*, aber keine Cuticularschicht bildet, der übrige Teil der Außenwand *a* wiederum gleich den übrigen Teilen der Epidermiswände aus Cellulose bestehend geblieben ist.

(Frank u. Tschirch, Wandtafeln LIV.)

fleischigartigen oder lederartigen Pflanzenteilen, welche schwächere Transpiration zeigen: bei vielen der letzteren ist sie noch verstärkt durch die sogenannten Cuticularschichten (Fig. 6, 1, indem auch einige der unter der Cuticula liegenden Schichten der Zellmembran diese chemische Umwandlung erlitten haben. Bei den meisten Pflanzen ist die Cuticula an der Unterseite der Blätter dünner als an deren Oberseite. Damit und zugleich mit der in der Regel größeren Anzahl

von Spaltöffnungen auf der Blattunterseite hängt die nachweislich stärkere Transpiration zusammen, welche an der Unterseite der Blätter gegenüber der Oberseite stattfindet. Wie sehr die Cuticula die Transpiration beeinflusst, sieht man z. B. an Äpfeln, welche geschält, also der Cuticula beraubt worden sind; sie schrumpfen an der Luft liegend durch Wasserverlust in kurzer Zeit ein, während bekanntlich ungeschälte Äpfel monatelang vollsaftig bleiben. Auch die dünne Wachsausscheidung, welche bei manchen Pflanzenteilen die Cuticula bedeckt in Form eines zarten, leicht abwischbaren weißen Reises, wirkt verdunstungsmindernd. So wurde z. B. an Kapsblättern, je nachdem von ihnen der Wachüberzug abgewischt worden war oder nicht, die Verdunstung im Verhältnis von 4,63 : 3,03 gefunden.

Andere Pflanzenteile haben als Hautgewebe statt der Epidermis eine Korkschicht. Das Periderm der Baumzweige und selbst die Rinde der dickeren Stämme ist hauptsächlich aus Korkgewebe gebildet. Auch die Schale der Kartoffeln und anderer unterirdischer Teile besteht aus Kork. Dieses Gewebe stellt schichtenweise hintereinander liegende meist rektangulär tafelförmige Zellen dar, die lückenlos aneinander schließen, und von innen her durch Bildung neuer Korkzellen aus einem sogenannten Korkkambium regeneriert werden. Die Membranen der Korkzellen bestehen aus Korksubstanz; auch dies ist ein von Wasser sehr schwer durchdringbarer Stoff. Daher vermindert der Kork ebenfalls die Transpiration bedeutend, wovon man sich überzeugen kann durch den raschen Wasserverlust, welchen z. B. geschälte Kartoffelknollen gegenüber ungeschälten beim Liegen an der Luft erleiden. In der Korkhaut sind aber als Beförderer der Transpiration die die Spaltöffnungen als Ventilationsorgane vertretenden Lentizellen, die wir unten näher kennen lernen werden, zu betrachten. So ergab sich z. B. an Hollunderzweigen, je nachdem ihre Lentizellen mit Lack verschmiert waren oder nicht, eine Verdunstung von 7,66 beziehentlich 10,6 pCt. ihres Wassergehaltes.

Endlich übt unstreitig auch das lebende Protoplasma auf den von ihm eingeschlossenen Zellsaft eine die Verdunstung verlangsamende Wirkung aus. Wenngleich man sich diese Wirkungsweise noch nicht näher erklären kann, so wird sie doch deutlich bewiesen durch die rapide Steigerung der Transpiration, welche sofort mit dem Tode an jedem Pflanzenteile hervortritt und die am auffallendsten bei den im lebenden Zustande ungemein schwach transpirierenden Pflanzen ist.

Verschiedenheit der Verdunstung je nach Pflanzenarten.

Aus der Ungleichheit der oben genannten Faktoren und ihrem Zusammenwirken resultiert die sehr ungleiche Größe der Transpiration, die wir an den verschiedenen Pflanzen wahrnehmen. Es giebt unter den Pflanzen starke und schwache Verdunster. Dies ist meistens auch den besonderen Lebensbedingungen der Pflanzen angepasst. Im allgemeinen transpirieren die auf feuchte und geschützte Standorte

angewiesenen Pflanzen lebhaft: sie welken daher rasch, wenn sie abgeschnitten sind oder in trockene Luft kommen. Umgekehrt besitzen diejenigen Pflanzen, welche äußerst trockene Standorte bewohnen, eine auffallend langsame Transpiration; das Äußerste darin leisten die sogenannten Succulenten, wie Cacteen, Crassulaceen, Aloe-, Agave-Arten u., die abgeschnitten an trockener Luft monatelang liegen können, ohne merkbar an Saft zu verlieren: ein wichtiges Schutzmittel für diese Pflanzen, die dadurch der langen Trockenheit widerstehen können, die an ihren natürlichen Standorten periodisch eintritt. Aber auch unter den Pflanzen mit gewöhnlicher lebhafter Transpiration, ist die letztere je nach Spezies ungleich. Wenn man die Verdunstungsgröße pro 1 qcm Oberfläche in der Zeit von 24 Stunden berechnet, so stellt sich diese Zahl bei den einzelnen Pflanzen ziemlich ungleich, z. B. bei Erbsen auf 2,51 g; bei Hanf auf 9,3 g Wasser, wonach also z. B. der Hanf zu den am stärksten transpirierenden Kulturpflanzen gehört. Indessen ist bei jeder Pflanze auch in den verschiedenen Altersperioden die Verdunstung ungleich: an ganz jungen Blättern ist sie auf gleiche Oberflächen berechnet größer als an erwachsenen Blättern derselben Pflanze.

Der Wasserbedarf der einzelnen Pflanzenarten hängt aber natürlich nicht bloß von ihrer spezifischen Transpirationsstärke, sondern auch von der Größe ihrer Blattoberflächen ab. Eine Maispflanze beansprucht in den 173 Tagen ihrer Vegetation 14 kg, der Hanf in 140 Tagen 27 kg, die Sonnenblume in 140 Tagen 66 kg Wasser.

Abhängigkeit der Transpiration der Pflanzen von äußeren Verhältnissen. Selbstverständlich ist der Wasserdampfgehalt der Luft von Einfluß: mit zunehmender Dampfsättigung nimmt die Verdunstung ab, und hört im vollständig mit Wasserdampf gesättigten Raum nahezu auf. Der Wassergehalt des Bodens beeinflusst die Transpiration insofern, als mit zunehmender Trockenheit des Bodens dieselbe schwächer wird, was wahrscheinlich mit dem beim herannahenden Weltwerden eintretenden Verschuß der Spaltöffnungen (S. 46) zusammenhängt. Wenn Pflanzen mit ihren Wurzeln in Wasser stehen, so bewirkt ein darin aufgelöstes Salz eine um so stärkere Transpiration, je mehr die Konzentration der Lösung steigt: doch bei einer Konzentration über 5 pCt., die überhaupt schädlich ist, tritt wieder Verlangsamung ein. Ebenso bewirken bis 0,3 pCt. Alkalien eine Steigerung, Säuren eine Abnahme der Verdunstung. Wir haben hierfür noch keine genügende Erklärung. Die Temperatur an sich, d. h. gleiche Trockenheit der Luft vorausgesetzt, hat keinen hervorstechenden Einfluß: selbst bei Temperaturen unter 0° zeigen immergrüne Pflanzen und selbst blattoße Baumzweige noch eine meßbare Verdunstung. Um so größer ist der Einfluß, den das Licht auch bei Ausschluß von Temperatursteigerung ausübt. Bei Maispflanzen, die im Lichte erzogen und ergrünt sind, gestaltet sich die Transpiration nach folgenden Verhältnissen: 97 mg im dunkeln, 114 mg im diffusen Lichte, 785 mg im Sonnenlichte: bei Mais, der im dunkeln etioliert gewachsen ist,

106 mg im dunkeln, 112 mg im diffusen Lichte, 290 mg im Sonnenlichte. Darum zeigt die Verdunstungsgröße der Pflanzen auch eine tägliche Periode: Nachts ist sie geringer als am Tage. Der meist größere Wasserdampfgehalt der Luft in der Nacht wirkt dabei in gleichem Sinne wie die Dunkelheit. Die Erklärung für diese Lichtwirkung ist jedenfalls mit in der Tatsache des Schließens der Spaltöffnungen in der Dunkelheit (S. 46) zu suchen. Endlich ist experimentell nachgewiesen, daß Erschütterungen der Pflanzen, wie sie also z. B. im Freien der Wind hervorbringt, eine vorübergehende Steigerung der Transpiration bedingen.

III. Das Aufsteigen des Wassers in der Pflanze.

Um die in der freien Luft befindlichen Teile einer Landpflanze mit Wasser zu versorgen, besonders um ihren Verdunstungsverlust immer wieder zu ersetzen, muß ein Wasserstrom von den Saugwurzeln nach allen Blättern und also bis in die obersten Partien der Pflanze aufsteigen. Bei sehr lebhaft transpirierenden Pflanzen kann in einem Tage leicht eine Wassermenge den Körper passieren, deren Gewicht dem Körpergewicht nahekommt. Zur Leitung dieses Wassers sind die Fibrovasalstränge, Gefäßbündel oder Leitbündel, insbesondere der Holzteil derselben bestimmt.

Der Beweis dafür, daß das zur Transpiration erforderliche Wasser im Holze aufsteigt, ist durch ein einfaches Experiment zu liefern. Wenn man an einer im Boden wurzelnden dicotylen Kraut- oder Holzpflanze dem Stengel unten an einer Stelle ringsum seine peripherischen Gewebe wegschneidet, so daß nur der Holzcylinder stehen bleibt, so erhalten sich die Blätter wochenlang frisch, bekommen also ungehindert Wasser zugeführt, um ihren Transpirationsverlust zu decken. Derselbe Erfolg tritt ein, wenn man den Stengel einer solchen Pflanze statt zu ringeln an einer Stelle durch Einwirkung heißen Wassers verbrüht, wodurch das gesamte lebende saftführende Zellgewebe getötet wird und der Stengel daselbst vollständig zusammen trocknet; nur die Holzteile der Fibrovasalstränge sind in einer solchen Stengelpartie noch unverändert mit ihrem Röhrensystem vorhanden, in welchem eben der Saft aufsteigt. Wenn man aber umgekehrt unter möglichster Schonung der peripherischen Gewebe den ganzen Holzkörper an einer Stelle unterbricht, so wird die Pflanze ungefähr ebenso rasch welk, als wenn sie von ihren Wurzeln ganz getrennt worden wäre.

1. Verlauf der Fibrovasalstränge.

Die erste Anforderung, welche die Fibrovasalstränge erfüllen müssen, wenn sie als Wasserleitungswege im Pflanzenkörper funktionieren sollen, ist die, daß sie ein zusammenhängendes System darstellen, welches ohne Unterbrechung von den Wurzeln aus bis an jeden Punkt der Blätter und an alle oberirdischen Teile

Fig. 7. Die Pflanze mit ihren wasserleitenden Geweben.

A stellt das Schema einer dicotylen Pflanze dar, in welcher durch die schwarzen Linien der kontinuierliche Verlauf der Fibrovasalstränge, als der wasserleitenden Gewebe, zur Anschauung kommt, indem dieselben hinter den Spitzen *s* einer jeden Wurzel beginnen, im Stengel aufsteigen und nach den Blättern laufen, wo sie durch reichliche Verzweigung in die Nerven des Blattes übergehen, welche bei *C* in einem vergrößerten Stückchen der Blattfläche genauer dargestellt sind. Durch die neben *A* stehenden vergrößerten Querschnittsbilder ist ersichtlich, wie die Fibrovasalstränge in der Wurzel einen centralen Strang, im Stengel mehrere im Kreise stehende und zu einem Ring sich schließende Stränge darstellen.

Bei *B* wird die Wurzelhaarbildung als Eintrittsstelle des Wasserstromes veranschaulicht.

In dem Pflanzenschema *A* sind außerdem die Wachstumszonen dargestellt durch schwarzen Ton: man sieht den terminalen Vegetationspunkt der Wurzeln bei *s*, des Stengels bei *t* und der Achselknospen *a*: bis zur Gegend von *w* ist der Stengel samt seinen Blättern im Wachstum begriffen.

(Frank u. Tschirch, Wandtafeln I.)

der Pflanze führt. Das ist nun auch, wie der Verlauf der Gefäßbündel lehrt, auf das Vollkommenste der Fall. Diese Organe treten uns als die harten holzigen Fäden entgegen, welche durch sämtliche Pflanzenteile sich huziehen und in den Stämmen und Zweigen der Bäume und Sträucher durch ihre größere Holzbildung besonders erstarken. Eine Vorstellung von dem Verlaufe der Gefäßbündel durch die Pflanze wird mit Hilfe unserer schematischen Figur 7 gewonnen werden.

Jede Wurzel, auch die feinste Saugwurzel, ist in ihrer Mitte von einem Fibrovasalstrang der Länge nach durchzogen, und dieser setzt sich an der Ursprungsstelle der Wurzel an denjenigen der stärkeren Wurzel an, aus welcher sie entspringt. Wo die Hauptwurzel nach oben in den Stengel übergeht, da zerteilt sich ihr Fibrovasalstrang in eine meist größere Anzahl von Strängen, welche nun im Stengel getrennt von einander aufsteigen und aus dem Stengel in die an demselben stehenden Blätter laufen. Jedes Blatt erhält auf diese Weise einen oder mehrere Fibrovasalstränge aus dem Stengel. Dafür ergänzt sich die Anzahl derselben in dem letzteren wieder, indem von anderen Fibrovasalsträngen neue sich abzweigen. Die Anordnung dieser Stränge im Stengel zeigt in den einzelnen Abteilungen des Pflanzenreiches Verschiedenheiten, die besonders für die Zweikeimblättrigen (Dicotylen) und für die Einkeimblättrigen (Monocotylen) charakteristisch sind. Bei jenen bilden die Fibrovasalstränge auf dem Querschnitte des Stengels einen Ring, welcher mit der Oberfläche ungefähr konzentrisch ist (Fig. 8); man nennt dann das von dem Gefäßbündelringe eingeschlossene Gewebe das Mark, das außerhalb des Ringes liegende die primäre Rinde. Bei den Monocotylen dagegen zeigen sich auf dem Querschnitte des Stengels die Fibrovasalstränge in zerstreuter Stellung (s. unten Fig. 50), weil sie in ihrem Längsverlaufe einen Bogen beschreiben, indem sie aufsteigend zunächst allmählich nach innen, dann wieder nach außen sich wenden, um so in die Blätter auszubiegen. Die in die Blätter eingetretenen Fibrovasalstränge finden wir im Blattstiele, wo ein solcher vorhanden, parallel neben einander hinlaufen; in der Blattfläche aber verteilen sich dieselben, gewöhnlich unter hochgradiger Verzweigung und stellen hier die bekannten Rippen und Nerven des Blattes dar, die mit jedem weiteren Verzweigungsgrade immer feiner werden und zuletzt meist ein sehr dichtes, sehr feinmaschiges Netz bilden, in dessen Maschen die letzten Nervenzweiglein meist frei endigen (Fig. 7, C). Da dieses feine Maschennetz in der ganzen Blattfläche verteilt ist, so wird thatsächlich jedem Punkte des Blattes Wasser zugeführt. Auch nach den Blüten und Früchten laufen vom Stengel aus durch die Blütenstiele Fibrovasalstränge und verbreiten sich hier in allen Teilen; besonders sind die Hülsen und Schoten und die saftigen Früchte des Obstes von einem reichen Gefäßbündelnetz durchzogen; und endlich führt in den Funiculus eines jeden Samens von der Frucht aus ein kleiner Fibrovasalstrang.

Bedeutungsvoll ist, daß überall die Massenentwicklung der Fibrovasalstränge, beziehentlich des Holzes mit dem Wasserbedarf der betreffenden Pflanzen

oder Pflanzenteile in entsprechender Beziehung steht. So finden sich bei den Wasserpflanzen, wo Transpiration nur schwach oder gar nicht stattfindet, auch nur spärliche oder überhaupt gar keine Gefäße und Holzelemente. Unter den Landpflanzen zeigen die Succulenten, welche durch ihre sehr langsame Transpiration

Fig. 8. Gefäßbündelring im Querschnitt des Sonnenblumen-Stengels.

Um das großzellige Mark steht der geschlossene Holzring h; im Umtreife desselben die Rinde, in welcher die kleinen Leitbündel b b b sichtbar sind. Schwach vergrößert.

(Frank u. Tschirch, Wandtafeln XIX.)

sich auszeichnen (S. 26), weit schwächer entwickelte Fibrovasalstränge als die gewöhnlichen stark transpirierenden Kräuter, während bei den Bäumen dem hohen Wasserbedarf ein voluminös entwickelter Holzkörper mit zahllosen Gefäßen entspricht. Der Aufbau des Baumes erheischt übrigens eine besondere Einrichtung, um zwischen dem in jedem Jahre neugebildeten Blätterapparat und den Saug-

wurzeln die Kontinuität der wasserleitenden Elemente herzustellen. Es wird dies durch die alljährlich erneute Überlagerung des Jahresringes im Holzkörper erzielt (vergl. unten Fig. 12 u. 13). Dieses Dickenwachstum des Holzkörpers bei den Bäumen beruht, wie wir beim Wachstumsprozeß kennen lernen werden, darauf, daß der Holzkörper hier von einem Kambium umkleidet ist, durch dessen Bildungsthätigkeit er außen immer mehr an Zuwachs gewinnt. Wir finden nun, daß der Gefäßbündelring der diesjährigen, blättertragenden Zweige sich über alle älteren Zweige, Äste und den Stamm bis in die Wurzelzweige als deren jüngster im nämlichen Sommer entstandener Jahresring fortsetzt; und in den Wurzeln stellen wieder die Fibrovaskelstränge der jüngst gebildeten Saugwurzeln seine Fortsetzung dar. Diese im laufenden Jahre produzierte Holzschicht mit ihren Gefäßen vermittelt also die Wasserkommunikation zwischen den aufsaugenden Wurzelorganen und der transpirierenden Baumkrone. Dagegen endigen die Holzringe der vorhergehenden Jahre in den Stumpfen der abgefallenen Blätter und Zweige der Vorjahre; in diesen sind die Gefäße verstopft durch Gummipropfen oder Thyllen, wie wir unten näher kennen lernen werden. Dementsprechend gehen auch die einige Jahre alten Holzringe bald in sogenanntes Kernholz über, dessen Gefäße in derselben Weise verstopft werden und welches dadurch nachweislich alle Leitungsfähigkeit für Wasser verliert. Nur die jüngsten Holzringe, welche man als Splint bezeichnet, sind leitungsfähig, und oft ist es wirklich nur der jüngste Splinttring. Sägt man nämlich an einem Baume den Holzkörper ringsherum bis zum Kernholz ein, so erfolgt in kurzer Zeit Welkwerden der Blätter, was eben beweist, daß nur das Splintholz leitungsfähig ist. So wird also bei den Bäumen das wasserleitende Gewebe in jedem Jahr erneuert. Mit diesem Bedürfnis hängt es auch zusammen, daß im Frühlinge beim Auftreten des neuen Laubes zugleich der neue Jahresring des Holzes in Stamm und Ästen gebildet wird, und daß das dabei entstehende sogenannte Frühlingsholz von dem später im Sommer zur Ablagerung gelangenden Herbstholz durch viel zahlreichere und viel weitere Gefäße, beziehentlich Tracheiden sich unterscheidet, denn das schnelle und gleichzeitige Erscheinen des neuen wasserverbrauchenden Laubes erfordert die rasche Indienststellung einer großen Anzahl dieser wasserleitenden Elemente.

2. Die bei der Wassersteigung funktionierenden Apparate der Fibrovaskelstränge.

Der Holzteil der Fibrovaskelstränge besteht im wesentlichen aus zweierlei Elementarorganen: den Holzzellen oder Libriformzellen und den Gefäßen oder Tracheen, beziehentlich Tracheiden. Unter Gefäßen haben wir uns hohle enge kapillare Röhren vorzustellen, welche kontinuierlich durch die Pflanze verlaufen. Sie entstehen dadurch, daß Zellen, welche reihenweis übereinander stehen, ihre Querwände auflösen und ihren Inhalt verlieren, so daß die allein stehenbleibenden Längswände dieser Zellen ein hohles Rohr bilden. Die

Innenste dieser Längswände verdickt sich an gewissen Stellen, während die dazwischen liegenden Stellen unverdickt bleiben. Die Hautverdickungen, welche zugleich durch Verholzung, also durch dieselbe chemische Veränderung wie die Mem-

Fig. 9. Stück eines Querschnittes durch den erwachsenen Stengel der Sonnenblume (ein Teil der Fig. 8 vergrößert).

Von den im Kreise stehenden Gefäßbündeln sind hier einige sichtbar und zeigen die runden Durchschnitte ihrer Gefäße. An der innersten Seite stehen die zuerst entstandenen, darum sogenannten Primordialgefäße *pg* (vgl. Fig. 10), dann folgt nach außen der eigentliche Holzkörper, das sogenannte sekundäre Holz *sh*, welches aus engen Holzfasern, aber auch aus sehr weiten Gefäßen besteht. *c* das Kambium, welches die Verdickung des Stengels bewirkt und sich zu einem kontinuierlichen Ringe schließt dadurch, daß auch die zwischen den Gefäßbündeln liegenden Parenchymzellen durch meristematische Teilungen zu Kambiumzellen (interfascicular Kambium *ic*) werden. *sh* der Siebteil der Gefäßbündel, von denen manche bei *b* auch eine Gruppe Bastfasern besitzen. *gr* die grüne Rinde, *e* Epidermis, *m* Mark.

(Frank u. Tschirch, Wandtafeln XX.)

bran der Holzzellen ausgezeichnet sind, wirken in dem Sinne, daß durch sie das Innere des Rohres ausgesteift und dadurch die Gefahr vermieden wird, daß eine Unwegsamkeit desselben durch Zusammengedrücktwerden eintreten könnte, während die dünnen Hautstellen des Gefäßes dem Wasser leichten Durchtritt gestatten. Je

nach der Form der Verdickungsstellen der Gefäßmembranen werden die Gefäße durch bezeichnende Namen unterschieden. Die ersten Gefäße, welche sich in jedem Fibrovasalstrang bilden und welche dem Marke zunächst liegen, sind Ring- und Spiralgefäße (Fig. 10 A u. 11). Dann folgen meist noch mehr oder weniger zahlreiche Tüpfelgefäße so genannt, weil die unverdickten Partien ihrer Haut in

Fig. 10. Gefäße des Sonnenblumenstengels, in der Längsansicht.

A. Primordialgefäße (pg in Fig. 9), in der Form von Spiralgefäßen (g). An den Enden des Präparates ist die Spiralfaser, welche das Gefäßrohr inwendig aussteift, durch den Schnitt herausgezerrt worden. Die Gefäße sind umgeben mit Parenchymzellen (p), welche Protoplasma, Zellkern und Saft Raum enthalten und aus welchen Wasser in die Gefäße eingepreßt werden kann.

B. Gefäße aus der Partie des sekundären Holzes (sh in Fig. 9), in der Form von Tüpfelgefäßen (g). Ihre verdickte Membran ist getüpfelt, d. h. sie hat zahlreiche, wie Tüpfel erscheinende dünne Stellen, welche das Einpressen von Wasser aus den hier ebenfalls das Gefäß umkleidenden Parenchymzellen (p) erleichtern.

Vorn zahlreicher tüpfelförmiger Stellen erscheinen (Fig. 10 B.). Oft kommen neben den Tüpfelgefäßen auch sogenannte Tracheiden vor, die mehr den Holzzellen ähnlich und viel enger als die Gefäße sind, aber ebenso getüpfelte Membranen wie diese besitzen. Von wesent-

Fig. 11. Das Ringgefäß.

Stück eines Ringgefäßes aus dem Stengel von *Cucurbita pepo*: g g Hohlraum des Gefäßes, dessen Wand durch ringförmige Verdickungen aus-
gesteift ist. Das Gefäß ist umkleidet von einer
Scheide, welche aus engen langgestreckten, saft-
führenden Zellen mit Protoplasma und Zellkern
besteht. (p p).

(Frank u. Tschirch, Wandtafeln XXXIX.)

licher Bedeutung für die Gefäße ist, daß jedes überall von einer Gefäßscheide umgeben ist, welche aus dünnwandigen, mit lebendem Protoplasma und mit Zellsaft versehenen Zellen besteht (Fig. 10 und 11, p). Die Zellen dieser Gefäßscheide sind also osmotisch wirksame Apparate, welche je nachdem sie mit Wasser strogend erfüllt oder durch Wasserverlust erschlafft sind, durch die unverdickten Membranstellen der Gefäßwand hindurch im ersteren Falle Wasser durch Druck in das Gefäß hineinpresse, im letzteren Falle solches aus dem Gefäße herauszuziehen. Das erstere geschieht, sobald der Gefäßscheide reichlich Wasser aus der Nachbarschaft zugeführt wird, also besonders in den Wurzeln: das andere erfolgt, wenn der Gefäßscheide von anderen Zellen Wasser entzogen wird, also vornehmlich im transpirierenden Blatte. Zur Beförderung des Wassers aus dem Holzkörper von den Gefäßen aus in horizontaler

Richtung nach der Rinde dienen hauptsächlich die Markstrahlen, welche sich in dieser Richtung nach der Rinde erstrecken, indem sie Reihen horizontal gestreckter Zellen mit dünnen Wänden, lebendem Protoplasma und Zellsaft, also ebenfalls osmotisch wirkungsfähige Apparate darstellen. Außerdem haben wir noch die eigentlichen Holzzellen oder Libriformzellen zu unterscheiden: d. i. faserförmig langgestreckte, aber sehr enge und sehr dickwandige Zellen mit verholzter

Membran. Je stärker der Holzteil der Gefäßbündel entwickelt ist, also besonders bei den eigentlichen Holzpflanzen, desto mehr machen die Holzzellen die Haupt- und Grundmasse des Holzkörpers aus, in welcher die Gefäße mehr zerstreut stehen, jedoch in entsprechend großer Anzahl vorhanden sind (Fig. 13); im Holze der Bäume sieht man, wie schon erwähnt im FrühjahrsHolze eines jeden Holzjahresrings die zahlreichsten Gefäße stehen und nach dem Herbstholze zu dieselbe allmählich feltner werden.

Fig. 12.

Holz der Nadelhölzer, im Querschnitt, gleichförmig nur aus Tracheiden, ohne Gefäße, bestehend; m Markstrahlen; i Grenzen der Jahresringe, durch die engen Zellen des Herbstholzes markiert.

Fig. 13.

Holz der Laubhölzer (Buche), im Querschnitt; m Markstrahlen; i Grenzen der Jahresringe, durch die engen Holzzellen des gefäßlosen Herbstholzes und das mit vielen weiten Gefäßen versehene FrühjahrsHolz markiert; b Rinde.

Von den beiden hier beschriebenen Hauptbestandteilen des Holzes kommen die Holzzellen für die Wasserleitung nicht in Betracht, denn sie dienen nur zur Festigung des Stengels, insbesondere des Baumstammes. Die Wasserleitung wird nur durch die Gefäße besorgt, welche in jener aus Holzzellen bestehenden Grundmasse des Holzes der Bäume wie kontinuierliche Röhren emporlaufen und welche bei den Kräutern fast den alleinigen Bestandteil der Holzstränge ausmachen; denn in keiner Pflanze, welche des Wassersteigens bedürftig ist, fehlen die Gefäße, während die Holzzellen fehlen können. Die Gefäße funktionieren nach dem Obigen

beim Wassersteigen nicht als tote Röhren, sondern vermöge der osmotisch wirkenden Zellscheide, mit der sie umkleidet sind, und welche wassereinpessend, wie wasserauslaugend wirken kann, wodurch sich das Aufsteigen des Saftes in der Pflanze sowohl durch Wurzeldruck als auch durch Aufziehen des Wassers nach dem Prinzipie der Saugpumpe erklärt, worüber unten nähere Angaben folgen.

Während bei den Laubhölzern die Wasserleitung und die Festigung zwei verschiedenen Organen übertragen ist, den Gefäßen und den Holzzellen, ist im Holze der Koniferen nur eine einzige Art von Elementarorganen für beide Dienste zugleich vorhanden. Das Holz eines jeden Laubholzbaumes zeigt auf dem Querschnitt eine Menge weiter Gefäße, welche in der aus Holzzellen bestehenden Grundmasse verstreut sind; dem Nadelholze fehlen die Gefäße, es besteht ganz aus gleichartigen, mehr den Holzzellen ähnlichen Elementen, nämlich aus Tracheiden, wie solche auch bei den Laubhölzern neben den Gefäßen vorkommen. Die Tracheiden wirken vermöge ihrer nicht unbedeutend verdickten und verholzten Membranen als Festigungselemente ebenso wie die echten Holzzellen der Laubbäume; aber zugleich dienen sie der Wasserleitung, wozu sie durch ihre Tüpfelbildung geschikt gemacht werden. Für die Nadelhölzer ist es charakteristisch, daß die Tüpfel der Tracheiden sogenannte Hoftüpfel sind. Jede Tracheide hat nämlich diese Tüpfel auf denjenigen beiden Längswänden, welche in radialer Richtung stehen, und zwar genau an denselben Stellen wie in der Nachbar-Tracheide, so daß die Tüpfel also Kommunikationen von einer Zelle zur anderen darstellen (Fig. 14). In das Innere der beiden Tracheiden mündet ein solcher Tüpfel mit einem engen Porus, aber zwischen beiden Tüpfeln liegt ein weiter linsenförmiger Raum, der Hofraum, welcher in der Mitte quer durch in zwei Hälften getrennt ist durch die ursprüngliche dünne Membran der beiden Zellen, die Schließhaut. Die letztere ist nicht verholzt und besonders an ihren Rändern sehr dünn und also wahrscheinlich äußerst leicht permeabel für Wasser; nur der Mittelpunkt der Schließhaut, welcher gerade auf den Tüpfel zu liegen kommt, wenn sich jene der einen Hofwand anlegt, ist etwas dicker (der sogenannte Torus). Die Tracheiden haben auch auf den an die Markstrahlzellen grenzenden Wänden Tüpfel, aber einseitige Hoftüpfel, indem nur an der Seite der Tracheide ein in die letztere mündender Hofraum ist, also die Schließhaut desselben von der dünnen Membran der Markstrahlzelle gebildet wird (Fig. 14 B); durch die letztere scheint durch osmotischen Druck Wasser aus der Markstrahlzelle in die Tracheide gepreßt werden zu können. Dagegen scheinen die zweiseitigen Tüpfel, mit welchen die Tracheiden unter sich kommunizieren, für die Saugung bestimmt zu sein, indem die Tüpfelschließhaut jedesmal von derjenigen Tracheide, welche Luft von negativem Drucke enthält, aspiriert wird, wobei der Torus, indem er sich bei höherem Drucke vor die kleine Öffnung legt, das Zerreißen der Schließhaut verhütet, nach Art eines Sicherheitsventiles. Es muß also wohl angenommen werden, daß, wenn infolge der von den Blättern ausgeübten Saugung in den oberen Tracheiden

negativer Luftdruck entsteht, das Wasser aus den tiefer unten befindlichen Tracheiden von einer zur anderen, also in Schlangenlinien nach oben gepumpt wird, wobei es die leicht durchlässigen Schließhäute der Tüpfel passiert.

Fig. 14. Tracheiden aus dem Holz der Kiefer.

- A. Radialer Längsschnitt durch das Holz. Die Tracheiden, oben mit ihren Enden, zeigen auf den radialen Seitenwänden die großen Hoftüpfel. st st die Zellen von Markstrahlen, welche horizontal in radialer Richtung zwischen den Tracheiden stehen. 300fach vergrößert.
- B. Stück eines Querschnittes durch das Holz, zeigt eine Reihe von Tracheiden, die an einen Markstrahl st st angrenzen; jede Tracheide hat daselbst einen großen einseitigen Hoftüpfel, indem die Markstrahlzelle keinen Tüpfel bildet, sondern ihre dünne Membran m als Schließhaut des breiten Tüpfels der Tracheide fungiert; 350fach vergrößert.
- C. Die zweiseitigen Hoftüpfel zwischen den Tracheiden im Längsschnitt: durch die Mitte des Hofraumes geht die in der Mitte etwas verdickte Schließhaut (Torus t); 570fach vergrößert.
- D. Derselbe Schnitt von der Edeltanne; der Torus t im Tüpfelhofe zeigt sich wie ein Klappenventil der Hofwand des linken Tüpfels anliegend; 600fach vergrößert.
- E. Dasselbe von der Kiefer; der Torus liegt in der Mitte des Tüpfelhofes; 500fach vergrößert. Nach Ruffow.

In einem Holze, welches nicht mehr leitungsfähig für Wasser ist, also besonders im Kernholze (S. 31), sehen wir die Hohlräume der wasserleitenden Elemente, insbesondere die der Gefäße durch eine von der Pflanze selbst ge-

schaffene Verstopfung unweegsam. Es geschieht dies entweder durch Kern- oder Wundgummi, d. i. harte Gummipropfen, die von den das Gefäß umgebenden Zellen ausgeschieden werden, oder durch Thyllen, d. h. blasenförmige Auswüchse, die von eben diesen Zellen in das Gefäßrohr hineingetrieben werden und sich darin soweit ausdehnen, bis sie gegenseitig einanderstoßen oder den Gefäßraum ganz ausfüllen. Dieselben auf Verstopfung der Gefäßlumina abzielenden Veränderungen erfolgen auch an Wundstellen des Holzkörpers indem das Holz hier in sogenanntes Schutzholz sich umwandelt, welches wie Kernholz dunkler gefärbt ist und dieselben anatomischen Veränderungen wie dieses aufweist.

3. Durch welche Kräfte das aufsteigende Wasser in der Pflanze in Bewegung gesetzt wird.

Aus dem Vorangehenden haben wir die Überzeugung gewonnen, daß die Gefäße nebst ihrer Umkleidung mit einer Scheide osmotisch wirkender Zellen auf die Erzeugung einer Druckkraft und einer Saugkraft berechnet sind, von denen jede schon für sich allein und um so mehr beide vereinigt, die Bewegung des Wassers nach oben bedingen.

Von dem Vorhandensein beider Kräfte kann man sich durch geeignete Experimente überzeugen. Die Druckkraft ist dasjenige, was man gewöhnlich als Wurzeldruck bezeichnet. Die Wirkung des letzteren tritt uns schon in der bekannten Erscheinung des sogenannten Blutens entgegen, welches in jedem Frühjahr unmittelbar vor Entfaltung des Laubes an gewissen Holzpflanzen, wie Weinstock, Birke, Hainbuche, zu beobachten ist. Wenn man um diese Zeit den Holzkörper des Stammes oder irgend eines Astes oder Zweiges aufschneidet oder anbohrt, so fließt aus der Wunde ununterbrochen Tage lang eine beträchtliche Menge wässerigen Saftes, welche deutlich aus dem Holzkörper, hauptsächlich aus dessen geöffneten Gefäßen sich ergießt. Sobald die genannten Pflanzen ihr Laub bekommen haben, erfolgt beim Durchschneiden des Holzes kein Bluten mehr, ebensowenig wie bei allen anderen Pflanzen. Man kann aber zu jeder Zeit während der Vegetationsperiode, nicht nur an den Holzgewächsen, sondern auch an den Kräutern, die Erscheinung hervorrufen, wenn man auf die Schnittfläche des im Boden eingewurzelten Stengels zunächst soviel Wasser aufsetzt, daß der Holzkörper sich damit sättigt; ist dies geschehen, so wird durch die Wirkung des Wurzeldrucks fortdauernd Wasser aus der Schnittfläche hervorgepreßt. Wir schließen daraus, daß die Erscheinung des Blutens bedingt ist durch eine vollständige Erfüllung der Hohlräume des Holzes mit Wasser und daß dieselbe bei den oben genannten Holzpflanzen nur deshalb im Frühlinge von selbst eintritt, weil ihre Wurzelthätigkeit hinlänglich früh erwacht, um das Holz in dieser Weise mit Wasser zu sättigen, bevor durch die Entwicklung des Laubes die Transpiration in Gang kommt; denn die letztere entzieht dem Holze so große Mengen Wassers, daß das-

selbe sehr bald seinen wassergesättigten Zustand verliert. Der Blutungssaft ist nie reines Wasser, sondern enthält kleine Mengen verschiedener löslicher Kohlenhydrate, Säuren, Eiweißstoffe, Asparagin, Ammoniak und anorganische Stoffe gelöst. Namentlich finden sich in den natürlichen Blutungssäften der Bäume im Frühling, wie schon der süße Geschmack derselben verrät, Zuckerarten; beim Zuckerahorn steigt der Gehalt davon bis auf 3,57 pCt. Die Anwesenheit dieser Stoffe und die wechselnden Mengen, in denen dieselben je nach Pflanzenarten, Entwicklungszeiten u. gefunden werden, kann nicht Wunder nehmen, da diese Säfte ja nicht direkt aus dem Boden stammen, sondern eben aus den die Gefäße umgebenden Parenchymzellen in die ersteren gepreßt werden. Die Ausflussmengen eines über der Wurzel abgeschnittenen Stengelstumpfes sind oft sehr bedeutend und übersteigen schon in kurzer Zeit das Volumen der ganzen Wurzel, woraus auf das deutlichste hervorgeht, daß das ausfließende Wasser erst durch die fortwährende Thätigkeit der Wurzeln aus dem Boden aufgenommen worden ist. Aus einem Birkenstamm kann man in einem Tage leicht einige Liter Saft gewinnen. Eine *Urtica urens* von 1450 ccm Wurzelvolumen ließ in 2½ Tagen 11 260 ccm, *Solanum nigrum* von 1900 ccm Wurzelvolumen in 3 Tagen 4275 ccm Wasser ausfließen. Die *Agave* soll nach Abschneiden des jungen Blütenstängels in 24 Stunden 200—375 Kubitzoll und in der vier bis fünf Monate dauernden Blutungszeit bis 50 000 Kubitzoll Saft liefern. Bei allen Pflanzen wird der Blutungssaft mit einer gewissen Kraft hervorgeedrückt. Diese ist es eben, die wir als Wurzeldruck bezeichnet haben. Zur Veranschaulichung und Messung dieser Kraft bedient man sich folgenden Experimentes. Setzt man auf dem Stengelstumpfe ein vertikales Glasrohr auf, so steigt der Saft in dem letzteren zu bedeutenden Höhen empor, selbst bei Kräutern bis zu 2 m und darüber. Wendet man ein mit Quecksilber gefülltes Manometerrohr an, so wird das Quecksilber in dem freien Schenkel durch den im anderen Schenkel wirkenden Saftdruck hoch emporgetrieben, und die Quecksilbersäule, welche der Differenz im Stande der beiden Schenkel entspricht, kann als Maß für den jeweiligen Wurzeldruck dienen. Am Weinstock hat man den Blutungsdruck bis zu 107, bei *Digitalis* zu 46,1, beim Mohn zu 21,2, bei *Atriplex hortensis* zu 6,5, bei *Morus alba* zu 1,2 cm Quecksilberdruck gefunden. Mittels dieser Methode hat man auch beobachtet, daß der Wurzeldruck im Frühling und Sommer weit ansehnlicher ist als im August und September, daß aber auch eine tägliche Periode zu bestehen scheint, welche ihr Maximum am Tage, aber nach Pflanzenarten in verschiedenen Tagesstunden, das Minimum Nachts, im allgemeinen ungefähr 12 Stunden später hat, und welche beim Wachsen im Dunkeln nicht zu beobachten ist, ferner daß der Wurzeldruck mit Abnahme der Temperatur bis auf wenige Grade über 0° viel geringer wird, aber auch bei ungewöhnlich hohen Temperaturen erlischt, endlich daß Trockenheit des Bodens und höhere Konzentration der Nährstofflösung ihn ebenfalls vermindern. Eine Wirkung der Druck-

Kraft, welche das Wasser durch die Pflanze treibt, ist auch die Erscheinung der Wassertropfenausscheidung aus unverletzten Pflanzen. An den Blattspitzen des Getreides und anderer Gräser, an den Spitzen der Blattabschnitte oder der Zähne des Blattrandes vieler Dikotylen schwoigen, namentlich in feuchter Luft, wo die Transpiration vermindert ist, also bei Nacht oder wenn man eine Glocke über die Pflanze stürzt, große Wassertropfen aus, die sich bald wieder erneuern, wenn man sie entfernt. An den bezeichneten Punkten findet man die Austrittsstellen des Wassers in Form sogenannter Wasserpalten, einer eigentümlichen Art von Spaltöffnungen (S. 45) mit sehr weiter Spalte, die sich auch nicht zu schließen vermag. Der unter der Wasserpalte befindliche Raum ist von lückenlos aneinanderschließenden zartwandigen kleinen Zellen begrenzt, unter denen unmittelbar das Gefäßbündel endigt und welche wahrscheinlich der Durchpressung von Wasser von dort aus einen sehr geringen Widerstand entgegensetzen.

Das Saftsteigen, also das Zustandekommen des Wurzeldruckes, beruht auf einer osmotischen Druckkraft derjenigen turgeszenten Zellen, welche in der Umgebung der Gefäße liegen und einseitig, nämlich nach dem Gefäßraume zu Wasser hervorpressen, indem ihr Filtrationswiderstand nach dieser Seite am geringsten ist. Nichts spricht dagegen, daß diese Druckkräfte im ganzen Verlaufe der Gefäße durch die Pflanze, also nicht bloß in der Wurzel, in Wirkung sind, denn überall ist der Aufbau der Gefäße und der sie umgebenden Zellen von der gleichen dieser Anforderung entsprechenden Art. Daß die Druckkraft schon in der Wurzel vorhanden ist, beweist das Saftsteigen in Glasröhren, die man direkt auf die Wurzel z. B. des Weinstocks aufsetzt. Das Saftsteigen aus Stengeln hört sofort auf, wenn man die Wurzeln abschneidet, und das Gleiche geschieht unter den nämlichen Umständen auch mit den Wassertropfenausscheidungen. Dies beweist jedoch nur, daß zum Aufsteigen des Wassers in den Gefäßen das Geschlossensein des Gefäßsystems nach unten hin Bedingung ist, was sich ja eigentlich schon von selbst versteht.

Die zweite Kraft, welche die Wasserbewegung in der Pflanze bedingt, die Saugkraft, geht von den transpirierenden Blättern aus. Sie läßt sich dadurch nachweisen, daß man einen abgeschnittenen beblätterten Zweig in den einen Schenkel eines Manometerrohres luftdicht einsetzt, welches Wasser enthält, das unten durch Quecksilber gesperrt ist (Fig. 15). Soviel Wasser, als der Zweig durch Verdunstung verliert, nimmt er aus dem Manometerrohr auf, und dies geschieht mit solcher Kraft, daß das Quecksilber in denselben Schenkel der Röhre emporgezogen wird, so daß es bisweilen um 30 cm höher als im andern Schenkel steht. Auch wenn man in den Stamm eines belaubten Baumes Manometerrohren mit Quecksilber einsetzt, so zeigen diese eine bedeutende Saugkraft an, die bis zu 76 cm Quecksilberdruck gefunden worden ist. Beim Nachlassen der Transpiration hört diese Saugkraft auf, ebenso wenn die Blätter abgeschnitten werden. Diese Saugung kann nur dadurch hervorgebracht werden, daß die saftführenden Parenchymzellen, welche die Gefäßausscheidungen der letzten Endigungen der Blattnerven bilden,

Wasser endosmotisch aus den Gefäßen herauszuziehen, was so lange fortgehen muß, als die Zellen des Blattes durch Transpiration ihr Wasser an die Luft abgeben. Wenn nun den Gefäßen der letzten Nervenendigungen ein Teil des in ihren Hohlräumen enthaltenen Wassers entzogen wird; so bildet sich in denselben ein luftverdünnter oder ein vielleicht nur mit Wasserdampf erfüllter Raum. Daraus entsteht aber in dem zusammenhängenden System der Gefäße eine Saugung, genau so wie im Stiefel einer Wasserpumpe, und es werden dadurch die kleinen Wasserfäulchen, welche in den weiter unten gelegenen Gefäßen stehen, in die Höhe gesogen. So pflanzt sich die Wasserbewegung rückwärts weiter fort. Damit steht auch in vollem Einklange die Beobachtung, daß die Luft in den Gefäßen einer lebenden transpirierenden Pflanze eine geringere Tension als die atmosphärische Luft hat, also unter negativem Drucke steht. Wenn man nämlich von einer unverletzten, im Boden wurzelnden Pflanze einen beblätterten Stengel unter Quecksilber oder unter einer Farbstofflösung abschneidet, so dringt die Flüssigkeit sogleich in die Gefäße ein; das Mikroskop zeigt dann die letzteren bis auf 50—60 cm damit injiziert. Oder wenn an eine soeben angefertigte Astschnittfläche eine Glasröhre luftdicht angelegt wird, welche unten in Wasser taucht, so sieht man das letztere sehr bald allmählich in der Röhre emporsteigen. Im Winter dagegen, wo die Transpiration und damit die Saugkraft fehlt, findet man auch die Luft in den Gefäßen wenig oder nicht verdünnt. Aus dem negativen Luftdruck, welcher in den Gefäßen der unverletzten Pflanze herrscht, erklären sich auch folgende Beobachtungen. Sprosse, die man in der Luft abschneidet, zeigen, auch wenn man sie alsbald in Wasser stellt, vorübergehendes Welken, während kein Welken eintritt, wenn man das Abschneiden unter Wasser vornimmt. Im ersteren Falle wird nämlich sofort durch Eindringen der Außenluft in die Gefäße der negative Druck in denselben ausgeglichen und dadurch die Pumpkraft vorübergehend aufgehoben, während beim Durchschneiden unter Wasser statt Luft Wasser in die Gefäße gesogen wird. Auch werden abgeschnittene Pflanzen leichter wieder frisch, wenn man sie in warmes Wasser stellt, weil die dadurch erwärmte Gefäßluft beim Abkühlen unter negativen Druck kommt, wie denn überhaupt jede Abkühlung der Pflanze eine Verminderung des Volumens der Gefäßluft bewirken und dadurch zur Steigerung der Saugkraft beitragen muß.

Fig. 15. Versuch zur Demonstration der Saugkraft transpirierender Blätter.

Die Glasröhren a und b sind durch das Kautschukrohr c verbunden und enthalten Quecksilber, über a Wasser. Die Differenz in der Höhe des Quecksilberstandes von a gegen b giebt die Kraft der Saugung an.

Dagegen ist die Vorstellung unstatthaft, daß die Gefäßröhren die Aufwärtsbewegung des Wassers nach dem physikalischen Prinzip der Kapillarität bewirken. Das Aufsteigen von Flüssigkeiten in Kapillarröhren ist nämlich an die Bedingung geknüpft, daß in denselben die Flüssigkeit einen kontinuierlichen Faden darstellt. Wo dies nicht der Fall, sondern der Faden durch Luftblasen unterbrochen ist, da hat man eine sogenannte Jaminsche Kette in dem Kapillarrohr, von welcher uns die Physik lehrt, daß sie der bewegenden Kapillarkraft einen bedeutenden Widerstand entgegensetzt. Nun entsprechen aber die in den Gefäßen der Pflanze befindlichen Wasserfäulchen in der That einer Jaminschen Kette: die direkte Beobachtung zeigt, daß sie von längeren und kürzeren Luftblasen unterbrochen sind, deren Vorhandensein aus der Saugwirkung der Blätter sich erklärt. Die Kapillarität der Gefäßröhren kommt also beim Saftsteigen nicht als bewegende, sondern nur als haltende Kraft in Betracht, insofern als die Bildung der Jaminschen Kette die Wasserfäulchen in jeder beliebigen Höhe, auf welche sie durch die anderen Kräfte gebracht worden sind, zu tragen vermag, so daß ihr Gewicht sich nicht summieren und nach unten fortplanzen kann.

IV. Die Aufnahme gasförmiger Nahrungsstoffe.

Die Gase, aus welchen die atmosphärische Luft besteht, Sauerstoff, Stickstoff, Kohlensäure, können von denjenigen Teilen einer Pflanze, die sich in der Luft befinden, also vornehmlich von den grünen Blättern, aufgenommen werden. In gasförmigem Aggregatzustande dringt freilich die Luft nicht in die Pflanzenzellen selbst ein; es sind niemals Luftblasen in letzteren zu finden, sondern die Luft wird von den Zellen absorbiert, d. h. aufgelöst in dem Wasser, welches in der Membran und im Inhalte der Zelle vorhanden ist. Darum werden unzweifelhaft schon durch die Oberhautzellen des Blattes direkt Gase aus der Außenluft absorbiert und umgekehrt daraus in die Luft ausgeschieden. Der Bau des Blattes ist nun aber darauf berechnet, daß auch jeder einzelnen luftbedürftigen Zelle im Innern des Blattes Luft direkt von außen zugeführt und auf demselben Wege auch die von den Zellen wieder ausgeschiedene Luft entfernt werden kann. Wir unterscheiden im Baue des grünen Blattes folgende drei Gewebearten (vergl. Fig. 16): Das Mesophyll, der Hauptbestandteil des Blattes, ein zartes, weiches, durch grüne Farbe ausgezeichnetes (also Chlorophyll enthaltendes) Gewebe, welches die Mitte der Blattmasse einnimmt, indem es auf beiden Seiten des Blattes von einem anderen Gewebe, der Epidermis oder Oberhaut, überzogen ist; der dritte Gewebebestandteil des Blattes sind die Fibrovaskelstränge, die wir schon oben als die Rippen und Nerven des Blattes kennen gelernt haben, die dem Mesophyll, in welchem sie sich nach allen Richtungen verbreiten, immer neues Wasser zuführen. Die Zuleitung von Luft zu jeder einzelnen Zelle des Mesophylls wird ermöglicht durch das System der Interzellulargänge,

welches besonders im Mesophyll hoch entwickelt ist. Unter Intercellularen verstehen wir kleine Zwischenräume, welche zwischen den Zellen dadurch entstehen, daß dieselben an gewissen Stellen auseinander weichen: in diesen Intercellulargängen befindet sich beständig Luft. Die der Oberseite des Blattes zugehörige Hälfte des Mesophylls besteht aus den Palissadenzellen, d. i. längliche, rechtwinkelig zur Blattfläche dicht beisammensiehende, chlorophyllreiche Zellen mit

Fig. 24. Querschnitt durch das Blatt der Rübe (*Beta vulgaris*).

überzogen von der Epidermis der Oberseite *o* und der Unterseite *u*, in welcher die Spaltöffnungen *sp sp*, befindet sich das grüne Gewebe oder Mesophyll, in der oberen Blatthälfte aus Palissadenzellen *pa*, in der unteren Hälfte aus Schwammparenchym *sch* bestehend; diese Zellen enthalten die Chlorophyllkörner und haben zwischen sich weite, nur mit Luft erfüllte Zwischenräume, die Intercellulargänge. Bei *k* im Innern des Mesophyll eine mit einer Malfozalat-Drüse erfüllte Zelle. Bei *f* einer der dünnen Fibrovasalstränge, welche die feinen Blattnerven darstellen.

(Frank u. Tschirch, Wandtafeln VII.)

eugen Intercellularen; die die Blattunterseite bildende Hälfte stellt das Schwammparenchym dar, welches aus rundlichen chlorophyllärmeren Zellen besteht, die sehr weite Intercellulargänge zwischen sich bilden, und daher die Beschaffenheit eines von Luft durchzogenen Schwammes hat. Nicht bei allen Pflanzen ist das Mesophyll in Palissaden- und Schwammparenchym unterschieden; bei Pflanzen, deren Blätter schmal sind oder keine Quertage gegen das Licht einnehmen, also auf beiden Seiten gleich belichtet sind, hat es eine mehr gleichförmige Beschaffen-

Fig. 17. Bau der Spaltöffnung. A die aus den beiden Schließzellen gebildete Spaltöffnung in der Ansicht von der Oberseite des Blattes aus, im geöffneten, B im geschlossenen Zustande. ss die beiden Schließzellen, sp die Spalte. C in der Querschnittsansicht, mit den angrenzenden Epidermiszellen e und den darunter liegenden Mesophyllzellen m, mit der Atemhöhle a. Die Schließzellen sind geschlossen: in dem darüber gezeichneten Bilde sieht man sie in der Stellung, wo die Spalte geöffnet ist. (Frank u. Tschirch, Wandtafeln XXV u. XXVI.)

heit. Da das ganze Mesophyll von dem in sich zusammenhängenden System der Interzellulargänge durchzogen ist, so wird jeder Mesophyllzelle Luft direkt zugeleitet. Das Interzellularsystem ist nämlich durch zahllose natürliche Ausmündungsstellen, die sich in der Epidermis befinden, nach außen geöffnet und also mit der Außenluft in freier Kommunikation. Die Epidermis ist eine einfache Schicht chlorophyllloser Zellen, die auswendig kuticularisiert sind (S. 23) und lückenlos mit einander in festem Verbande stehen, also zwischen sich selbst auch keine Luft hindurchgehen lassen. Als Luftventile dagegen wirken besondere in der Oberhaut befindliche Apparate, die Spaltöffnungen (Fig. 17), indem sie die Öffnungen des Interzellularsystems vorstellen. Jede Spaltöffnung besteht aus zwei kleinen Schließzellen, welche, ungefähr von halbrunder Gestalt, so nebeneinander liegen, daß sie zwischen sich eine offene Spalte lassen. Unter derselben befindet sich das erweiterte Ende eines Interzellularganges, die sogenannte Atemhöhle, deren Mündung nach außen eben die Spaltöffnung darstellt. In den Schließzellen ist immer viel Protoplasma, einige Chlorophyllkörner und etwas Stärkemehl oder Öltröpfchen zu sehen; so lange die Schließzellen in starker Schwellung sich befinden, ist die Spaltöffnung offen; erschlaffen sie, so werden sie durch den Druck der benachbarten Epidermiszellen zusammengedrückt und die Spaltöffnung schließt sich.

Wir finden die Spaltöffnungen hauptsächlich in der Epidermis derjenigen Pflanzenteile, welche eines lebhaften Gasaustauschs bedürfen, also namentlich der Blätter (Fig. 18). Hier befinden sie sich immer nur über dem eigentlichen Mesophyll; derjenige Teil der Epidermis, welcher die Rippen und Nerven des Blattes bedeckt, ist frei von Spaltöffnungen. Auf großen breiten Blättern stehen diese Organe in den verschiedensten Stellungen, an schmalen Blättern, z. B. bei Gräsern und Getreide, sind sie reihenweise so geordnet, daß sie mit ihrer Spalte in der Längsrichtung des Blattes stehen. Viele Blätter haben die Spaltöffnungen nur auf der Unterseite, also über dem von den weitesten Interzellulargängen durchzogenen Schwammparenchym; bei anderen Pflanzen kommen auch auf der Oberseite dergleichen vor, doch ist dann meist ihre Zahl auf der Unterseite größer. Umgekehrt besitzen die schwimmenden Blätter der Wasserpflanzen nur auf ihrer oberen, der Luft ausgesetzten Seite diese Organe. In der Epidermis der Stengel finden wir die Spaltöffnungen viel spärlicher, auf den Blumenblättern gar nicht oder sehr vereinzelt, während sie auf den Früchten in der Regel vorhanden sind. Die unterirdischen Pflanzenteile ermangeln derselben fast ausnahmslos. Die Zahl der Spaltöffnungen auf den Blättern pflegt bei den einzelnen Pflanzenarten eine ziemlich konstante Größe zu sein; bei den allermeisten Pflanzen schwankt diese Zahl pro 1 qmm der unteren Blattseite etwa zwischen 40 und 300, doch giebt es auch Pflanzen mit noch mehr Spaltöffnungen; beim Kaps z. B. stellt sich diese Zahl auf 716. Was also der einzelnen Spaltöffnung an Größe abgeht, wird durch die ungeheure Anzahl derselben ersetzt, wodurch die Bedeutung derselben als Luftventile in die Augen springt.

Das Öffnen und Schließen der Spaltöffnungen, dessen Mechanismus oben erläutert wurde, wird durch äußere Einflüsse reguliert, indem der Turgor der

Fig. 18. Verteilung der Spaltöffnungen.

Abgezogene Epidermisstücke, oben vom Blatt der *Beta vulgaris*, unten vom Blatt der *Avena sativa*; dort stehen sie regellos zerstreut, hier in gerader Richtung in Reihen. Bei *nn* sind Nerven, wo die Epidermis keine Spaltöffnungen trägt. Schwach vergrößert.

(Frank u. Tschirch, Wandtafeln VIII.)

Schließzellen, von welchem das Öffnen und Schließen abhängt, in noch nicht hinlänglich aufgeklärter Weise durch äußere Faktoren verändert wird. Unter allen Umständen sinkt bei zu geringer Bodenfeuchtigkeit der Turgor der Schließzellen, so daß die Spaltöffnungen sich schließen; es geschieht dies also beim Welkwerden und oft schon, bevor noch Welken bemerkbar ist. Augenscheinlich liegt darin ein Schutzmittel, um bei Gefahr von Trockenheit die Wasserverdunstung zu vermindern. Bei vielen Pflanzen schließen sich auch Nachts die Spaltöffnungen; dieses Schließen ist wahrscheinlich nicht die unmittelbare Folge der Lichtentziehung, sondern des steigenden Turgors der Epidermiszellen, denn es ist von vielen Zellen bekannt, daß ihr Turgor in der Dunkelheit steigt; denn man kann sogar im Lichte bei manchen Pflanzen durch wasserdampfgesättigte Atmosphäre den Spaltenschluß befördern. Am Tage sind bei genügender Bodenfeuchtigkeit und gewöhnlicher Luft die Spaltöffnungen geöffnet.

Um zu verhindern, daß die Spaltöffnungen durch auswendig die Blätter benetzendes Wasser kapillar verstopft werden, bestehen gewisse zweckmäßige Einrichtungen. Vor allem das Vorkommen der Spaltöffnungen allein oder vorwiegend auf der unteren Blattoberseite. Zweitens bedeckt häufig eine

Wachsausscheidung der Epidermis die mit den Spaltöffnungen besetzten Stellen, wodurch die Benetzung dieser Partien mit Wasser verhütet wird. Oder diese Stellen sind mit einem Haarüberzug bedeckt, der die Luft festhält und also gleichfalls vor

dem Benetztwerden schützt. Übrigens verhindert schon die wachsartige Cuticula der Epidermis der meisten Pflanzen einigermaßen das Benetztwerden: darum bleiben die Blätter oft, wenn man sie ins Wasser taucht, von einer dünnen silberglänzenden Luftschicht überzogen.

Wie leicht die Luft die Spaltöffnungen passieren und durch das Inter-cellularsystem in der Pflanze circulieren kann, lehrt folgender Versuch. Man kittet einen abgeschnittenen, mit Blättern besetzten Stengel oder ein einziges großes Blatt, z. B. vom Kohl mit der Schnittstelle ins untere Ende einer Glasröhre ein und bedeckt darin die Schnittfläche mit einer Schicht Wasser. Saugt man am oberen Ende der Glasröhre mittelst einer Pumpe, so perlt ein ununterbrochener Strom zahlloser Luftbläschen aus der Schnittfläche, und zwar tagelang, so lange als das Object frisch bleibt.

Daß die Spaltöffnungen auch bei der Transpiration beteiligt sind, wurde Seite 23 erwähnt.

Auf den Zweigen und Stämmen der Bäume und Sträucher ist die Epidermis ersetzt durch einen Rorkmantel, das sogenannte Periderm, welches an und für sich für Luft kaum durchdringbar ist, aber in den sogenannten Lenticellen für Luft wegsame Poren besitzt. Das sind die dem bloßen Auge als kleine zerstreute braune Wörzchen auf der Oberfläche der Zweige sichtbaren Bildungen. Sie bestehen aus einer Wucherung von Rorkzellen, die hier jedoch nicht lückenlos verbunden sind, sondern sehr enge luftführende Inter-cellulargänge zwischen sich lassen, die von außen bis in das Inter-cellularsystem der darunter liegenden Rinde führen. Nur im Winter ist häufig die Lenticelle geschlossen, indem eine Schicht ihrer Rorkzellen lückenlos aneinandererschließt, während diese Zellen im Frühjahr auseinanderweichen und die Lenticelle wieder für Luft wegsam machen.

V. Mithilfe von Symbiose bei der Ernährung.

Erst in der jüngsten Zeit ist die Thatfache bekannt geworden, daß sehr vielen Pflanzen, und zwar gerade den wichtigsten Kulturpflanzen, bei der Erwerbung ihrer Nahrung Hilfe geleistet wird durch fremde Wesen, nämlich durch gewisse Pilze. Die letzteren sind in den gewöhnlichen Vegetationsböden allgemein verbreitet, so daß die Pflanzen in der freien Natur meist sicher mit ihnen zusammentreffen; sie vereinigen sich dann mit ihnen in inniger organischer Weise, so daß Pflanze und Pilz ein einfacher Pflanzenorganismus zu sein scheinen. Ein derartiges Verhältniß nennt man Symbiose (Lebensgemeinschaft). Die Pilze welche hierbei beteiligt sind, erweisen sich also als Wohlthäter der betreffenden Kulturpflanzen. Denjenigen Pflanzen, welche bei der Ernährung Hilfe geleistet wird durch Symbiose mit Pilzen, stehen die autotrophen Pflanzen gegenüber, d. h. die anderen Pflanzen mit gewöhnlicher selbständiger Ernährung.

1. Die Mykorrhizen der Waldbäume. Bei allen baumförmigen Koniferen (Kiefern, Tichten, Tannen und Lärchen) und Stupuliferen (Rothbuchen,

Fig. 19. Die Mykorrhiza der Rotbuche.

A Buchenwurzel in einem durch Sterilisierung pilzfrei gemachten Waldbhumus gewachsen, unverpilzt, mit Wurzelhaaren h. Bei c die Wurzelspitze mit der Wurzelhaube; mehrmals vergrößert.

B Buchenwurzel in demselben, aber nicht sterilisierten Waldhumus gewachsen, als Mykorrhiza, d. h. ganz mit einem Pilzgewebe umgeben, von dem eine Menge Pilzfäden und Pilzfädenstränge p in den Humus eindringen, bei a mit demselben verwachsen. Vergrößerung wie bei A. Darunter zeigt B einen Längsschnitt durch die Spitze der Mykorrhiza, stärker vergrößert, wo man den ringsum gehenden Pilzmantel p erkennt, der an seiner Spitze s aus jüngsten Zellen besteht. r Wurzelrinde, pl Periderm (Anfang des Gefäßbündels), von e e an liegt das Meristem der Wurzel mit Andeutung von Wurzelhaubenbildung. Rechts davon ein Stück dieses Längsschnittes noch stärker vergrößert, um zu zeigen, wie die Epidermiszellen e nicht bloß außen, sondern auch nach innen zu von dem Pilz umspunnen sind, dessen Gewebe zahllose kleine Zellen bildet.

(Frank u. Tschirsch, Wandtafeln X.)

Eichen, Haseln, Hainbuchen, Birken) sind sämtliche feinen Saugwurzeln, mit welchen diese Bäume die Nahrung aufnehmen, vollständig von einem Pilzmantel umkleidet (Fig. 19). Derselbe besteht aus zahllosen Pilzfäden, die sowohl unter sich, als auch mit der Wurzeloberhaut innig verwachsen sind. Auch hält dieser Pilzmantel mit dem Wachsen der Wurzel immer gleichen Schritt, indem er sich an der Wurzelspitze entsprechend weiter mit entwickelt und also auch die Wurzelspitze vollständig einhüllt. Aus Wurzel und Pilz ist also ein einziges Organ entstanden, welches ich Pilzwurzel, Mykorrhiza genannt habe; weil hier der die Wurzel ernährende Pilz auf der Außenseite der Wurzel sich befindet, habe ich diese Form als ectotrophische Mykorrhiza bezeichnet. Die Pilzfäden der Mykorrhizen stehen in zahllosen Verbindungen mit den Fäden derjenigen Pilzmycelien, welche den Humus des Waldbodens allenthalben durchsetzen, sie sind die Fortsetzung derselben und entstehen auch aus denselben, sobald die junge Baumwurzel in den Waldhumus eindringt. Die Mykorrhizen werden von den verschiedensten dieser Waldpilze (Steinpilz, Fliegenschwamm, Trüffeln u. c.) gebildet. Der Umstand, daß sämtliche Saugwurzeln des Baumes durch einen vollständigen Pilzmantel berindet sind, beweist, daß alle Nahrung den Wurzeln nur durch Vermittelung des Pilzes zugeführt wird. Den Mykorrhizen fehlen darum auch die Wurzelhaare, also diejenigen Organe, durch welche Pflanzen, die sich selbstständig ernähren, die Nährstoffe erwerben (S. 14); die Wurzelhaare sind hier durch den Pilz ersetzt, dessen Fäden, indem sie in Menge aus dem Humus an den Mykorrhizen zusammenkommen, Nährstoffe von dort herleiten. Da die humusbewohnenden Pilze ihre gesamte Nahrung, organische wie anorganische Bestandteile, aus dem Humus ziehen, und da gerade bei ihnen die Fähigkeit, sich aus Humus zu ernähren, am höchsten entwickelt ist, so sind die Waldbäume bei ihrer Ernährung wahrscheinlich notwendig auf die Wiedergewinnung der Stoffe angewiesen, welche in dem abgefallenen Laub und in dem daraus entstehenden Humus enthalten sind, und vermögen dies in ausgiebigem Maße eben nur durch die Hilfe der Mykorrhizenpilze. Denn wenn man Waldboden mit heißem Wasserdampf behandelt, wodurch die darin wachsenden Pilzmycelien getötet werden, so entwickeln sich dann z. B. Buchen oder Kiefern, die man in solchen Boden sät, sehr kümmerlich und gehen meist schon im zweiten bis vierten Lebensjahre ein,

während in einer gleichen Quantität desselben Bodens, der nicht sterilisiert worden ist, die genannten Pflanzen schön und kräftig sich entwickeln, aber auch lauter Mykorrhizen zeigen, während jene nur unverpilzte Wurzeln aufweisen. Die große Bedeutung der Waldstreu für die Ernährung der Bäume und der Nachteil, den die Streunutzung für den Wald haben muß, wird dadurch in helles Licht gesetzt.

2. Die Mykorrhizen der Moor- und Heidesträucher (Ericaceen). Auch der Moor- und Heideboden zeigt uns langlebige, in Beständen gesellig wachsende Holzpflanzen, welche für die Wiedergewinnung der nötigen Nährstoffe die in Humus übergehenden Pflanzenabfälle wieder nutzbar machen müssen. Auch hier scheint dies durch Pilzmycelien zu geschehen, welche regelmäßig auch in diesen Bodenarten vorkommen und auch konstant mit den Wurzeln des Heidekrautes (*Calluna vulgaris*), aller Arten Heidelbeeren (*Vaccinium Myrtillus*, *uliginosum*, *Oxycocco*s und *Vitisidaea*) sowie aller anderen Ericaceen und des *Empetrum nigrum*, welche den Hauptbestand der Moore und Heiden ausmachen, eine eigene Form von Mykorrhizen bilden. Die zahlreichen Saugwurzeln aller dieser Pflanzen zeigen eine eigenartige Form: sie stellen zwar verhältnismäßig sehr lange, aber nur spinnefadendicke Fäden dar, welche nur aus einem dünnen Gefäßbündel und einer Epidermis bestehen. Die letztere ist auswendig zwar nicht vollständig bekleidet, aber doch mehr oder weniger umwickelt von Pilzfäden, welche aber hier auch ins Innere der Epidermiszellen eindringen und oft in Form eines Knäuels dieselben ganz erfüllen.

3. Die Mykorrhizen der Wiesenkräuter. Die perennierenden Pflanzen, welche den Bestand der Wiesen, besonders der moorigen und humusreichen ausmachen, gleichgiltig zu welchen Pflanzenfamilien sie gehören, zeigen beständig (am regelmächtigsten bei den Orchideen) eine Verpilzung ihrer lebenden Saugwurzeln in der Art, daß der Pilz ganz ins Innere der Wurzel einzieht, indem er innerhalb der Rindenzellen der Wurzel große dichte Fadentnäuel bildet, welche durch Fäden, die durch die Zellwandungen hindurchdringen, sowohl unter sich, als auch mit der Umgebung der Wurzel im Zusammenhange stehen. Diese Pilztinäuel, welche wahrscheinlich ihre Nahrung von außen erhalten, sind in einem gewissen Entwicklungszustande sehr reich an Eiweißstoffen: in einem späteren Zustande erweisen sie sich derselben beraubt und ausgefogen, die lebende Wurzel hat sich diese Bestandteile des Pilzes zu Nuge gemacht, gleichsam seinen Gefangenen verdaut. Ich habe die unter 2 und 3 erwähnte Mykorrhizenform, weil hier der die Ernährung vermittelnde Symbiosenpilz im Innern der Wurzelzellen sich befindet, endotrophische Mykorrhiza genannt. In beiden Fällen scheint es auch auf die Erwerbung der in den Humusbestandteilen liegenden wertvollen Pflanzennährstoffe durch Vermittelung der betreffenden humusbewohnenden Pilze abgesehen zu sein.

4. Die Symbiose der Leguminosen. An den Wurzeln sämtlicher zu den Leguminosen gehöriger Pflanzen kommen regelmäßig sogenannte Wurzel-

knöllchen vor (Fig. 20 u. 21). Sie haben die Form runder oder länglicher, an der Seite des Wurzelkörpers sitzender Anschwellungen; jede Pflanze besißt deren eine mehr oder weniger große Anzahl. Diese Gebilde sind zwar Produkte der Pflanze,

Fig. 20. Wurzelknöllchen der Erbse.

1. Wurzeln einer Erbsenpflanze mit Wurzelknöllchen.

2. Ein Wurzelknöllchen im Durchschnitt, am durchschnittenen Wurzelkörper sitzend; h das Bakteroidengewebe des Knöllchens, m das Meristem, welches das Wachstum an der Spitze des Knöllchens vermittelt; f Fibrovasalsrang der Wurzel, f_1 diejenigen des Knöllchens.

3. Entwicklung eines Knöllchens; h dasjenige Wurzelhaar, durch welches der Pilz mittelst eines Infektionsfadens in das Gewebe der Wurzelrinde $r r r$ eingedrungen, in welcher die Zellgruppe m bereits pilzgefüllt und in Zellvermehrung übergegangen ist, um sich zu dem Bakteroidengewebe zu entwickeln; e Epidermis der Wurzel; i Eintrittsstelle des Pilzes ins Wurzelhaar; Bakterienmassen zeigen sich hier auch noch außerhalb des Haares.

(Frank u. Tschirch, Wandtafeln XXXIII.)

aber sie entstehen erst infolge der Einwirkung von im Erdboden lebenden Organismen, welche in die Wurzel eindringen und dann in diesen sich allmählich vergrößernden Wurzelknöllchen zu kolossaler Vermehrung kommen. Denn Leguminosen, welche in einem vorher sterilisierten Erdboden keimen, bilden diese Knöllchen nicht, während in allen Kulturböden im Freien jede Leguminoße solche Knöllchen bekommt,

was uns beweist, daß es im Erdboden allverbreitete Organismen giebt, welche diese Knöllchen erzeugen. Es handelt sich hier wiederum um Pilze, aber um wesentlich andere als in den vorigen Fällen, nämlich um Spaltpilze (Bakterien):

Fig. 21. Wurzelknöllchen der Lupine.

1. Wurzel der gelben Lupine mit Wurzelknöllchen.
2. Durchschnitt eines Wurzelknöllchens zur Blütezeit der Pflanze. In der Rinde des Knöllchens sind die Nester von Bakteroidengewebe als dunklere Stellen angedeutet.
3. Durchschnitt eines Knöllchens zur Zeit der Fruchtreifung. Die Bakteroidengewebe sind ausgeleert, und hohle Kammern zurückgeblieben.
4. Durchschnitt eines jungen Knöllchens, stärker vergrößert: g Gefäßbündel des Wurzel-durchschnitts, e Zweige des Gefäßbündels, die ins Knöllchen gehen, wo sie um das Bakteroidengewebe d herumlaufen: letzteres hat bei e e seine aus Meristem bestehenden Wachstumpunkte: f Rinde des Knöllchens, z Rinde der Wurzel: h und h Endodermis, welche die Fibrovasalstränge umgiebt.

(Frank u. Tschirch, Wandtafeln XXXII.)

ich habe diesen Knöllchenpilz *Rhizobium Leguminosarum* genannt. Die etwa 0,001 mm großen Keime desselben treten durch die Wurzelhaare in einzelne Rindenzellen der Wurzel ein, wo sie sich rasch vermehren und das Protoplasma dieser Zellen ganz erfüllen (Fig. 20 und 21). Die so mit Bakterien geschwängerten Zellen bleiben nicht nur am Leben, sondern werden sogar zu erhöhter Thätigkeit

angereizt, indem dadurch in ihnen auf einmal ein neuer Wachstumsreiz gewekt wird; sie gehen in lebhafteste Zellteilung über, und es entsteht so ein neuer Zellbildungsherd, welcher zur Entstehung des Wurzelknöllchens Veranlassung giebt. Das letztere ist also eine aus der Wurzelrinde hervorgehende Neubildung, die nun längere Zeit fortwächst, indem im Innern des Knöllchens, besonders von dessen Scheitel aus die pilzgefüllten Zellen immer neue dergleichen durch Teilung erzeugen. Damit geht eine enorme Vermehrung des Spaltpilzes Hand in Hand, dessen Individuen zu Millionen die meisten inneren Zellen der oft ziemlich groß werdenden Wurzelknöllchen erfüllen. Man kann die letzteren also treffend als Pilzkammern bezeichnen, denn sie sind eben Brut- und Wohnstätten dieser Pilze. Die oberflächliche Partie der Knöllchen wird von einer ziemlich pilzf freien Rinde gebildet, in welcher auch Gefäßbündel verlaufen, die mit denen der Wurzel im Zusammenhange stehen. Die Pflanze übt aber auch auf den von ihr gezüchteten Pilz eine bemerkenswerte Veränderung aus: die Bakterien werden in den Zellen der Pflanze grolenteils durch Überfütterung entartet, sie wachsen hier zu eigentümlichen Gebilden aus, Bakteroïden genannt, die das Drei- bis Fünffache der ursprünglichen Größe, abweichende Gestalt und einen bedeutend vermehrten Eiweißgehalt besitzen (Fig. 22). Zuletzt bemächtigt sich aber die Leguminose der in ihren Pilzkammern angesammelten Bakteroïden, indem sie dieselben auflöst und die Eiweißsubstanzen derselben sich zu Nute macht, also sie thatsächlich aufzehrt und verdaut. Es geschieht dies ungefähr um die Zeit, wo die Pflanze behufs Bildung ihrer Früchte einen großen Stickstoffbedarf hat. Die Wurzelknöllchen erscheinen nach Auflösung der Bakteroïden wie ausgeleert (Fig. 21, 3). Indessen wird doch auch ein großer Teil der in den Knöllchen angesammelten Spaltpilze von der Umwandlung in Bakteroïden nicht betroffen und behält seine normale Beschaffenheit; diese Individuen widerstehen auch der verdauenden Einwirkung der Pflanze, sie bleiben in den ausgeleerten Knöllchen zurück und gelangen beim Verwesen derselben wieder in den Erdboden (Fig. 22). Darin liegt andererseits der Nutzen, der aus dieser Symbiose für den Spaltpilz erwächst. Für die Leguminosenpflanze hat aber die Symbiose eine bedeutende Beförderung der Ernährung und der ganzen Entwicklung zur Folge. In einem Erdboden, der gar keine Kohlen- und Stickstoffverbindung enthält, also in einem reinen Quarzsand, in welchem nur die nötigen mineralischen Nährstoffe vorhanden sind, kommen Leguminosen zu vollster Entwicklung und reicher Produktion von Samen, sobald das Rhizobium mit ihnen in Symbiose sich befindet, und auch die Wurzelknöllchen mit ihrem Inhalt sind dann üppig entwickelt. Dies beweist, daß in diesem Falle der gesamte Kohlenstoff und Stickstoff, welcher in den Pilzmassen der Wurzelknöllchen in Form von organischen Verbindungen niedergelegt ist, aus der Luft stammt, deren Kohlensäure in den Blättern assimiliert und deren Stickstoff ebenfalls von der Pflanze verarbeitet wird; ja die Pflanze erhält in diesem Falle allen zu ihrem Aufbau erforderlichen Kohlen- und Stickstoff allein aus der Luft. Diese Nahrungsquelle

wird dem Pilze nur durch Vermittelung der Leguminoſe, welche denſelben in ihrem Körper aufzieht, erſchloſſen, denn getrennt von der Pflanze in künſtlichen Nährlösungen kultiviert, kann man den Pilz nur mit organiſchen Kohlen- und Stickſtoffverbindungen ernähren, er kann ſelbſt keinen freien Stickſtoff aſſimilieren:

Fig. 22. Der Symbioſepilz der Leguminoſen.

1 vier Zellen des Bacteroidengewebes, ganz mit Bacteroiden, einigen hellen Stärkekörnchen und dem Zellkern n erfüllt, ſehr ſtark vergrößert.

2 eine ebenſolche Zelle im Zuſtande der Entleerung des Knöllchens, wo die Mehrzahl der Bacteroiden aufgelöst iſt, die unverändert gebliebenen kleinen Spaltpilze aber zurückbleiben.

3 unveränderter Spaltpilz, auf Gelatine gezüchtet, in Vermehrung durch Teilung begriffen.

4 im Wurzelknöllchen zu Bacteroiden umgewandelte Spaltpilze von der Erbſe,

5 vom Kottlee, dazwiſchen einzelne unverändert gebliebene Spaltpilze.

3 bis 5 ungefähr 2000fach vergrößert.

(Frank u. Tſchirch, Wandtaſeln XXXIV.)

denn er wächst nicht oder ſehr unbedeutend, wenn ihm zwar Zucker, aber keine Stickſtoffverbindung zur Verfügung ſteht. Kommt in einem ſolchen ſtickſtofffreien Boden die Symbioſe nicht zuſtande, d. h. unterbleibt die Bildung der Wurzelknöllchen (wenn man durch Sterilisieren des Bodens die Pilzkeime getötet hat), ſo bringt es die Leguminoſe zu keiner normalen Entwidlung, ſondern verkümmert, wie es auch die Nicht-Leguminoſen auf ſolchem Boden ſtets thun. Die Anweſenheit des Rhizobium in der Pflanze wirkt alſo wie ein Reiz auf die letztere, wo-

durch die Kraft derselben, freien Stickstoff zu verarbeiten, außerordentlich angepörrnt wird. Auf guten Boden, welche reichlich Stickstoffverbindungen für die Ernährung der Pflanzen enthalten, scheint die Symbiose ziemlich bedeutungslos zu sein, denn hier entwickeln sich die Leguminosen auch beim Fehlen der Wurzelknöllchen, also ohne Mithilfe der Symbiosepilze nicht wesentlich ungünstiger als bei Gegenwart derselben. Man vergleiche mit dem hier Gesagten unten das Kapitel von der Ernährung der Pflanze mit elementarem Stickstoff.

3. Abschnitt.

Woraus die Nahrung der Pflanze besteht.

Die Stoffe, welche die Pflanze in sich aufnimmt, um ihr Körpergewicht zu vergrößern, können wir die Nährstoffe derselben nennen. Indessen bedarf es doch bei diesen Stoffen erst der Entscheidung, ob sie für die Entwicklung der Pflanze notwendig oder entbehrlich sind, denn es ist nicht ausgeschlossen, daß Stoffe in die Pflanze gelangen, die für die Ernährung nicht wesentlich sind. Nur die hierzu unentbehrlichen können wir als die echten Nährstoffe ansehen.

Von den 8. 9 genannten Elementen, welche gewöhnlich in den Pflanzen vorkommen, gehören nur folgende zu den echten Nährstoffen: Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Schwefel, Phosphor, Chlor, Kalium, Calcium, Magnesium, Eisen. Die übrigen können unbeschadet der Entwicklung der Pflanze fehlen; doch muß dem Silicium, wenigstens für einige Pflanzen eine gewisse Bedeutung zuerkannt werden. Von den vier erstgenannten Elementen ist die Unentbehrlichkeit selbstverständlich, weil sie die Bestandteile der organischen Substanz ausmachen, indem die drei ersten Elemente zu allen organischen Pflanzenstoffen, der Stickstoff zur Bildung der Eiweißstoffe, der Amide und anderer stickstoffhaltiger Verbindungen gebraucht werden. Daß von den sieben anderen Elementen kein einziges fehlen darf, um eine Pflanze normal zu ziehen, beweist man durch künstliche Ernährungsversuche mittels der sogen. Wasserkulturen (Fig. 23) oder Sandkulturen, indem man die Pflanzen erzieht in reinem Wasser oder in reinem (geglühten und gewaschenen) Quarzsand, nachdem man in dem Wasser die betreffenden Elemente in geeigneten Verbindungen aufgelöst, beziehentlich den Sand mit einer solchen Lösung begossen hat. Eine geeignete Normal-Nährstofflösung ist folgende:

1,00 g	Calciumnitrat
0,25 "	Chlorkalium
0,25 "	Magnesiumsulfat
0,25 "	Kaliumphosphat
Spur	Eisenphosphat

1,75 g auf 1000 g Wasser,

Fig. 23. Die Methode der Wasserkultur.

Phaseolus vulgaris in Normal-Nährlösung (mit allen mineralischen Nährsalzen), aber in A ohne Stickstoff, in B mit Nitrat, in C mit Ammoniumsalz. Nach einer nach der Natur aufgenommenen Photographie.

so daß also die Stärke der Lösung etwa 0,17 pCt. beträgt. Höhere Concentrationen werden der Pflanze leicht schädlich, ebenso wie bei zu starker Düngung des Bodens mit leicht löslichen Stoffen. Wenn man aus dieser Nährstofflösung irgend ein Element wegläßt, indem man es in den betreffenden Salzen durch ein anderes vertreten läßt, so gedeihen die Pflanzen nicht und beweisen dadurch, daß das fragliche Element für sie unentbehrlich ist.

Da für die Pflanzen jedes einzelne der genannten Nährelemente unentbehrlich ist und auch in jeweils bestimmten Mengen beansprucht wird, so gehen wir die Entwicklung der Pflanze jedesmal beeinträchtigt, wenn irgend eines der notwendigen Elemente in ungenügender Menge vorhanden ist, und die übrigen Nährstoffe kommen dann nicht zur vollen Verwertung. Wenn wir in solchem Falle durch geeignete Düngung dasjenige Element, woran die Pflanze Not leidet, hinzufügen, so erzielen wir höhere Ernten. Es beherrscht also immer der jeweils im Minimum vorhandene Nährstoff die Entwicklung der Pflanze (Gesetz des Minimums).

Eine wichtige Aufgabe der Ernährungslehre ist es, nachzuweisen, in welchen chemischen Formen die für die Ernährung nötigen Elemente von der Pflanze beansprucht werden, beziehentlich welchen Nährwert die verschiedenen Stoffe besitzen, in denen jene von der Pflanze aufgenommen werden können. Wir werden im Folgenden für jedes einzelne Nährelement die Quellen kennen lernen, aus welchen es die Pflanze in der Natur erwirbt. Nicht minder wichtig ist die Frage, zu welchem Zwecke die Pflanze die einzelnen Nährstoffe gebraucht. Es wird sich dabei herausstellen, daß die meisten Nährstoffe in der Pflanze erst in andere chemische Form übergehen müssen, ehe sie zum eigentlichen Aufbau des Pflanzentkörpers und zum Gebrauche in demselben dienen können, d. h. die rohen Nährstoffe werden in der Pflanze erst in die Bildungsstoffe oder plastischen Stoffe umgewandelt, und dies nennt man ihre Assimilation; dieselbe schließt sich meist so innig an die Erwerbung der Nährstoffe selbst an, daß wir sie hier nicht unberücksichtigt lassen können, wiewohl wir die Bildung der Pflanzenstoffe erst im nächsten Abschnitt genauer betrachten werden.

1. Kapitel.

Wie erwirbt die Pflanze Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff (die Elemente der verbrennlichen Substanz)?

Bis zum Anfange unseres Jahrhunderts ging die Meinung der Naturforscher dahin, daß die Pflanzenvwelt ihre Nahrung ausschließlich aus dem Erdboden erhalte und daß sie sich hauptsächlich aus den organischen Substanzen des Humus und Moders, also aus den festen Überresten der zu Grunde gegangenen Lebewelt, wieder aufbaue. Daran war allerdings die damalige ungenügende Kennt-

nis der Elementarstoffe der Körperwelt, der Luft und des Wassers zum Teil schuld. Als aber im Jahre 1804 durch Saussure's Versuche festgestellt wurde, daß grüne Pflanzen aus der Luft Kohlensäure aufnehmen und daraus unter Ausscheidung von Sauerstoffgas organische Nährstoffe bilden, brach sich die Ansicht immer mehr Bahn, daß im Gegenteil erst die leinsten Zersetzungsprodukte organischer Materie, die bereits wieder anorganische Form angenommen haben, wie Kohlensäure und Wasser, Ammoniak, Salpetersäure, die eigentlichen Nahrungsmittel der Pflanzen seien. Die natürliche Folge war, daß man den organischen Stoffen die Bedeutung von direkten Nahrungsmitteln absprechen zu müssen glaubte. Saussure hatte zwar noch die Meinung vertreten, daß neben der Kohlensäure der Luft doch auch der Humus des Erdbodens den Pflanzen Kohlenstoff liefere, und von landwirtschaftlicher Seite hat namentlich Thaer die nach ihm genannte Humustheorie vertreten, wonach der Humus das hauptsächlichste Pflanzennahrungsmittel darstellt. Dahingegen hielten Liebig und seine zahlreichen Anhänger an der Ansicht fest, daß Kohlensäure, Wasser, Ammoniak, Salpetersäure die eigentlichen Nahrungsmittel der Pflanzen sind und daß die organischen Körper und besonders der Humus nur insofern für die Pflanzenernährung Bedeutung haben, als sie bei ihrer Zersetzung in jene anorganischen Verbindungen übergehen. Auch die Pflanzenphysiologen neigten mehr oder weniger entschieden zu dieser Ansicht, zumal seitdem es ihnen mittels der oben erwähnten Wasserkulturen gelingen war, nachzuweisen, daß die grünen Pflanzen aus den genannten anorganischen Verbindungen allein ihre kohlen- und stickstoffhaltigen Bestandteile erzeugen können. Schon immer war es aber in der Physiologie ausgemacht, daß alle chlorophylllosen Pflanzen, wie die Pilze und mehrere nicht grüne Phanerogamen, ihren Kohlenstoffbedarf nicht der Kohlensäure entleihen können, sondern organischer Verbindungen, beziehentlich des Humus als Nahrungsmittel notwendig bedürfen. Späterhin und besonders in der jüngsten Zeit ist durch meine Untersuchungen festgestellt worden, daß auch grüne Pflanzen von der Ernährung mit organischen Verbindungen, insbesondere mit Humus, Vorteil ziehen oder zum Teil vielleicht sogar notwendig darauf angewiesen sind, so daß wir jetzt schon soweit gekommen sind, die alte Humustheorie zum Teil wieder in ihr Recht einzusetzen. Hinzugekommen ist in der neueren Zeit auch die Erkenntnis, daß der elementare Stickstoff der Luft von den Pflanzen als Nahrungsmittel verwertet werden kann. Der gegenwärtige Stand der Ernährungslehre wird aus dem Nachstehenden erkannt werden.

I. Die chlorophyllhaltigen Pflanzen bekommen Kohlenstoff aus der Kohlensäure der Luft, Wasser- und Sauerstoff durch das Wasser.

Für alle grünen Pflanzen ist Kohlensäure der wichtigste kohlenstoffliefernde Nährstoff; ebenso ist für sie das Wasser ein Nahrungsmittel, weil es den nötigen Wasserstoff und Sauerstoff liefert, die beide zu dem Kohlenstoff hin-

zutreten müssen, um organische Verbindungen zu bilden. In der Kohlensäure ist aber weit mehr Sauerstoff enthalten, als zur Bildung der organischen Pflanzenstoffe gebraucht wird. Die Kohlensäure-Assimilation besteht daher in einer Zersetzung der Kohlensäure: es wird ungefähr der gesamte Sauerstoff der aufgenommenen Kohlensäure von der Pflanze wieder ausgeschieden. Mit jedem Kohlensäure-Verbrauch der Pflanze geht daher eine Ausscheidung von Sauerstoff Hand in Hand. Die letztere ist leicht nachzuweisen an der beständigen Ausscheidung von Luftblasen aus lebenden grünen Pflanzenteilen, wenn man die letzteren im Sonnenlichte unter Wasser hält (am besten an Wasserpflanzen); die ausgeschiedene Luft erweist sich als fast reiner Sauerstoff.

Kohlensäure steht auch überall in der Atmosphäre den Pflanzen zur Verfügung; im Freien schwankt der Gehalt der Luft an Kohlensäure zwischen 0,04 bis 0,06 Prozent; in geschlossenen Räumen, in denen Menschen oder Tiere sich aufhalten, ist er noch etwas größer. In dem ungeheueren Luftmeer, welches die Erdoberfläche umhüllt, liegt also für die Pflanzenwelt ein reicher Vorrat an Kohlensäure, der aber auch unerschöpflich ist, weil beständig auf der Erde Prozesse stattfinden, welche neue Kohlensäure erzeugen; dahin gehören die Atmung der Menschen und Tiere, die Verbrennungs- und Verwesungsvorgänge. Es besteht daher auf der Erde ein beständiger Kreislauf des Kohlenstoffes. Umgekehrt liefern die grünen Pflanzen durch ihre Kohlensäure-Zersetzung wieder den für die übrige Lebewelt fortwährend notwendigen Sauerstoff. In diesem Antagonismus schassen sich die beiden großen organischen Reiche auf unserer Erde der Pflanzen- und der Tierwelt gegenseitig ihre Bedürfnisse, und so ist keines ohne das andere existenzfähig, indem der Kohlenstoff und der Sauerstoff zwischen beiden in einem ewigen Kreislauf sich befinden, und in der atmosphärischen Luft Kohlensäure und Sauerstoff immer im Gleichgewicht erhalten werden.

Die Ernährung der grünen Pflanzen mit Kohlensäure und Wasser wird durch folgendes bewiesen. 1. Diese Pflanzen entwickeln sich in Wasser- oder Sandkulturen (S. 55), in denen nur die notwendigen mineralischen Nährsalze aufgelöst sind, völlig normal und bringen Blüten, Früchte und Samen; zur Erzeugung dieser organischen Substanz steht ihnen aber unter diesen Umständen nur Wasser und keine andere Kohlenstoffquelle als die Kohlensäure in der Luft zur Verfügung. Daher die Möglichkeit, auf reinem humuslosen Sande Pflanzen anzubauen, wenn die Wasserverhältnisse genügend sind und für mineralische Düngung gesorgt wird. 2. Jeder Vegetationsboden bereichert sich, auch wenn er keine organischen Düngemittel erhält, an Humus, also an kohlenstoffreichen Verbindungen, und zwar durch die organischen Rückstände der Pflanzen in Form von Wurzeln, Stoppeln und Abfall, sogar dann, wenn die Hauptmasse der Pflanzen abgeerntet wird. Der Humus entsteht also aus der Kohlensäure der Luft durch Vermittelung der Pflanzen, daher erklärt sich auch das allmähliche Anwachsen der Humusdecke des Waldbodens und besonders der Torflager durch die darauf

wachsende Vegetation. 3. Wenn man lebende grüne Pflanzenteile mit gewöhnlicher Luft in ein Gefäß luftdicht einschließt und sie dem Lichte aussetzt, so findet man nach einiger Zeit die Kohlensäure aus dieser Luft verschwunden und die letztere dafür an Sauerstoff reicher geworden. Man kann diese Versuche in folgender Weise ausführen. Leitet man durch ein Glasgefäß, in welchem sich lebende grüne Pflanzenteile befinden und welches von der Sonne beschienen wird, langsam einen Strom von atmosphärischer Luft, so erweist sich die aus dem Gefäße austretende Luft, indem man sie durch Barytwasser hindurchgehen läßt, wenigstens weit ärmer an Kohlensäure, wie man an der merklich geringeren Trübung des Barytwassers durch kohlensauren Baryt erkennt im Vergleich mit der direkt in Barytwasser geleiteten atmosphärischen Luft. Läßt man durch ein ebensolches, mit grünen Pflanzenteilen beschicktes und zunächst dunkel gehaltenes Glasgefäß einen Strom von Wasserstoffgas mit etwas Kohlensäuregas hindurchgehen, so kann man den Zeitpunkt erkennen, wo das Sauerstoffgas daraus ausgewaschen ist, indem eine Phosphorstange, die sich in einem Gefäß befindet, welches von dem austretenden Luftstrom passiert wird, aufhört, weiße Rauchnebel zu erzeugen. Läßt man alsdann zu dem die Pflanzen enthaltenden Gefäße Licht Zutreten, so beginnt sehr bald wieder der Phosphor zu rauchen, zum Beweise, daß die Pflanze durch Zersetzung der Kohlensäure Sauerstoffgas liefert. Die Landpflanzen absorbieren also mit ihren grünen Blättern aus der Atmosphäre gasförmige Kohlensäure, während die im Wasser lebenden grünen Vegetabilien die in diesem aufgelöste Kohlensäure und kohlensauren Salze zu ihrer Ernährung aufnehmen.

Über den Vorgang der Kohlensäure-Assimilation in der Pflanze wissen wir folgendes.

1. Die Pflanze wird hierzu durch das Chlorophyll befähigt. Nur in Zellen, deren Protoplasma Chlorophyllkörper (Fig. 24 u. 25) enthält, findet Kohlensäure-Zersetzung statt. Darum ist diese Ernährungsweise auch auf die grünen Pflanzen beschränkt; die chlorophylllosen schöpfen Kohlenstoff aus anderen Quellen (s. unten). Bei den chlorophyllhaltigen Pflanzen geschieht die Assimilation auch nur in den grünen Teilen; also sind die Blätter die wichtigen Ernährungsorgane, von welchen erst die anderen Teile, wie Wurzeln, Knollen, Blüten, Früchte, die Holzkämme u. ihre kohlenstoffhaltige Nahrung empfangen. Wir finden die chlorophyllhaltigen Zellen immer nur an solchen Pflanzenteilen, welche dem Lichte zugänglich sind, und auch hier sind sie immer so angeordnet, daß ihnen der größte Lichtgenuß zu teil wird, weil das Licht bei der Kohlensäure-Assimilation eine wichtige Rolle spielt, wie wir unten sehen werden. Die grünen Blätter als meist dünne, aber frei ausgebreitete großflächige Gebilde taugen hierzu auch am besten. Von der Zahl und der Größe der Blätter, die einer Pflanze zur Verfügung stehen, hängt die Ausgiebigkeit ihrer Assimilation ab.

Der Beweis dafür, daß die Kohlensäure-Assimilation durch das chlorophyllhaltige Protoplasma erfolgt, liegt in der Beobachtung, daß an allen Pflanzen-

teilen, in denen Chlorophyll vorhanden, die Ausscheidung von Sauerstoff im Lichte eintritt, und überall dort unterbleibt, wo es fehlt. Jeder Pflanzenteil, der frei von Chlorophyll ist, wie keimende Samen, Wurzeln, Knollen, Zwiebeln, Baumnknoipen, desgleichen auch alle Pflanzenteile, welche normal Chlorophyll besitzen, aber an der Bildung desselben verhindert sind, z. B. durch Dunkelheit oder durch Eisenmangel, lassen Kohlensäurezersehung vollständig vermissen. Ebenso fehlt sie

Fig. 24. Querschnitt durch das Blatt der Rübe (*Beta vulgaris*).

überzogen von der Epidermis der Oberseite o und der Unterseite u, in welcher die Spaltöffnungen sp sp, befindet sich das grüne Gewebe oder Mesophyll, in der oberen Blatthälfte aus Palisadenzellen pa, in der unteren Hälfte aus Schwammparenchym sch bestehend; diese Zellen enthalten die Chlorophyllkörner und haben zwischen sich weite, nur mit Luft erfüllte Zwischenräume, die Intercellulargänge. Bei k im Innern des Mesophyll eine mit einer Maloxalat-Druise erfüllte Zelle. Bei f einer der dünnen Fibrovaskelstränge, welche die feinen Blattnerven darstellen.

(Frank u. Tschirch, Wandtafeln VII.)

denjenigen Pflanzen gänzlich, die wie die Pilze völlig ohne Chlorophyll sind. Dagegen läßt sie sich an beliebigen Pflanzen und Pflanzenteilen nachweisen, da-
 iern dieselben mit Chlorophyll versehen sind: schon bei den einzelligen Algen, bei den Moosen, ebenso wie an allen abgeschnittenen grünen Teilen höherer Pflanzen, auch an solchen, welche rot aussehen, wie die Blätter der Blutbuche, des Rotkohl's u., weil hier das Chlorophyll nicht fehlt, sondern nur verdeckt ist durch rote Zelläfte.

Der Bau der grünen Blätter der Landpflanzen ist auf das Deutlichste darauf berechnet, daß jeder einzelnen chlorophyllhaltigen Zelle kohlenstoffhaltige Luft von außen direkt zugeführt werden und der ausgeschiedene Sauerstoff von

Fig. 25. Das Chlorophyllkorn.

In den Zellen liegen die Chlorophyllkörner in einer Schicht in dem Protoplasma, welches die Zellwand innen bekleidet, als flache Scheiben, ohne sich direkt zu berühren, wie Fig. 6 zeigt. Die farblose Grundmasse jedes Chlorophyllkornes weist bei sehr starker Vergrößerung eine schwammartige Struktur auf, wie in Fig. 5 a—d an kleinen Stücken eines Kornes ausgeführt ist. Im Lichte entstehen innerhalb der Chlorophyllkörner kleine Stärkekörnchen (Assimilationsstärke), die mit längerer Dauer größer und zahlreicher werden, wie dies aufeinanderfolgend in 1 bis 4 dargestellt ist.

Durch Salzsäure verändert sich der grüne Chlorophyllfarbstoff, es entsteht daraus Chlorophyllan, welches in Form brauner Tröpfchen aus den Chlorophyllkörnern auschwitzt, wie ch in Fig. 8 und 9 zeigt; oft bildet dasselbe auch braune Nadeln oder Fäden, wie solche in Fig. 10 a und b dargestellt sind. Bisweilen bildet sich neben Chlorophyllan auch das in großen blutroten Blättchen auftretende Eruthrophyll (9 er). In 11 sind einige Chlorophyllbänder von Spirogyra mit Salzsäure behandelt dargestellt, bei c Chlorophyllan-Nadeln, bei x ein gelber Tropfen von Xanthophyll, welches mit dem Chlorophyll gemengt war. In 7 sind einige Stärkekörnchen aus Kartoffelknollen dargestellt, an denen Partien des die Stärkekörner einhüllenden Protoplasmas ergrünt sind, wie es bei grün werdenden Kartoffelknollen geschieht, d zeigt ein solches Korn in Salzsäure, wodurch auch Chlorophyllan aus dem Chlorophyll entstanden ist.

(Frank u. Tschirch, Wandtafeln XIV.)

ihr nach außen wieder entweichen kann, wie oben S. 42 näher ausgeführt wurde. Wir haben dort gesehen, daß wenn man von der Oberhaut des Blattes, welche bei den Landpflanzen kein Chlorophyll enthält, und von den die Blattfläche durchziehenden Rippen und Adern, welche nur die Zu- und Ableitungswege der Stoffe des Blattes darstellen, abzieht, das ganze übrige Gewebe, das Mesophyll, aus lauter chlorophyllhaltigen Zellen besteht, zwischen denen ein zusammenhängendes System lufthaltiger Interzellulargänge sich verbreitet, welches durch die Spaltöffnungen nach außen geöffnet ist.

Die chlorophyllhaltigen Zellen haben nun folgende Beschaffenheit. Der grüne Farbstoff, dem die Blätter ihre Farbe verdanken, haftet immer am Protoplasma der Zelle, jedoch sind fast ausnahmslos nur besonders geformte Partien desselben damit gefärbt: bei den meisten Pflanzen sind dies die Chlorophyllkörner. Wir bemerken in jeder solchen Zelle in großer Anzahl runde grüne Körperchen, die jedoch weniger Körnerform als vielmehr runde flache Scheiben darstellen und gewöhnlich in einer einfachen Schicht im wandständigen Protoplasma so nebeneinander liegen, daß jedes mit seiner breiten Fläche der Außenseite der Zelle zugekehrt ist und so dem Lichte am vollständigsten sich darbietet (Fig. 25, G). Nur bei manchen Algen haben die Chlorophyllkörper andere Formen, z. B. diejenige von Platten oder Bändern, die unter der Zellhaut in Spiralförmigkeit um die Zelle gewunden und dadurch auch vorteilhaft dem Lichte exponiert sind. Der grüne Farbstoff ist mit der protoplasmatischen Grundsubstanz dieser Körper innig verbunden, als wäre er darin aufgelöst; durch Alkohol, Aether, Benzol u. dergl. kann man ihn aber daraus lösen und extrahieren, wobei die protoplasmatische Grundsubstanz farblos zurückbleibt.

Das Chlorophyll allein, von dem lebenden Protoplasma der Zelle befreit, kann keine Kohlensäure zersetzen; es handelt sich also um eine Lebensfähigkeit des Protoplasma, nämlich des protoplasmatischen Körpers, welcher die Grundsubstanz des Chlorophyllkörners ausmacht und der Träger des Chlorophyllfarbstoffes ist. Dabei ist aber der letztere unentbehrlich; inwiefern er dabei beteiligt ist, ist noch unbekannt; am nächsten ist die Wirkung mit der zersetzenden Wirkung der Fermente zu vergleichen.

2. Äußere Bedingungen der Kohlensäurezersehung in der Pflanze. Eine Hauptbedingung hierbei ist das Licht. Wird eine grüne Pflanze verdunkelt, so hört die Zersetzung der Kohlensäure fast augenblicklich auf und unterbleibt, so lange als die Dunkelheit andauert, kehrt aber bei Wiederbeleuchtung sehr bald wieder. Man kann nämlich die Ausscheidung von Sauerstoffblasen aus Wasserpflanzen sofort zum Stillstand bringen, wenn man durch einen vorgestellten Schirm das Sonnenlicht abhält. Daher ist während der Nacht die Ernährung der Pflanze aus Kohlensäure unterbrochen.

Nach dem Gesagten werden wir erwarten, daß man ohne Licht die von Natur mit Chlorophyll begabten Pflanzen nicht zur normalen Entwicklung bringen

kann. Läßt man solche Pflanzen ununterbrochen im Dunkeln keimen und wachsen, so sterben sie unfehlbar nach einiger Zeit ab, nämlich dann, wenn die organischen Verbindungen, die ihnen der Samen bot, aus welchem sie aufgekeimt, verbraucht sind. In solchen Dunkelpflanzen findet man dann nicht mehr soviel kohlenstoffhaltige Substanz, als wie in dem Samen vorhanden war, weil sie davon durch die Atmung verloren haben und an der Kohlen säure-Assimilation verhindert waren.

Am lebhaftesten ist die Assimilation im direkten Sonnenlichte, schwächer im zerstreuten Lichte, in geringer Helligkeit ist sie bei den meisten Pflanzen so unbedeutend, daß letztere dabei nicht genügend kohlenstoffhaltige Substanz bilden können, also nur schwächlich sich entwickeln oder ganz eingehen. Die durch den Helligkeitsgrad bedingte Lebhaftigkeit der Kohlen säure-Versezung läßt sich sehr genau bestimmen nach der Zahl der Gasblasen, welche ein und derselbe unter Wasser befindliche Pflanzenteil in einer Zeiteinheit entweichen läßt, wenn man ihn in verschieden intensives Licht bringt. Jede Wolke, die sich vor die Sonne stellt, bringt schon sofort eine Abschwächung hervor. Bei trübem Wetter wird während des Tages lange nicht soviel Kohlen säure zersezt als bei sonnigem.

Aus dem Gesagten werden viele für den Pflanzenbau wichtige Erfahrungen erklärlich. Wir begreifen, warum in Zimmern die Pflanzen nie so gut sich entwickeln als im Freien, warum unter schattigen Bäumen die meisten Pflanzen schlechter wachsen, als die daneben licht stehenden, warum bei dichtem Stande die Pflanzen sich gegenseitig und warum große Unkräuter die unter ihnen stehenden Pflanzen verdämmen. Für die landwirtschaftlichen Kulturpflanzen ist immer der hellste Standort der günstigste. Doch giebt es auch Gewächse, welche mit geringeren Lichtintensitäten auskommen, wie die eigentlichen Schattenspflanzen, die im Walde wachsen, und es läßt sich bei manchen auch schon in der Dämmerung etwas Sauerstoffausscheidung nachweisen. Ebenso ergibt sich aus Obigem, daß die Monate mit den längsten Tagen für die Pflanzenproduktion das meiste leisten und daß man im Winter zur Zeit der kürzesten Tage keine Pflanze zu normaler Entwicklung bringen kann, auch wenn man künstlich für genügende Wärme sorgt.

Die Kohlen säure-Versezung ist also eine Lichtwirkung im Chlorophyllform. Das Wesen derselben ist noch nicht ergründet; aber es ist möglich, daß gewisse optische Eigentümlichkeiten des Chlorophylls damit in Beziehung stehen. Eine Lösung von Chlorophyll fluoresciert nämlich lebhaft rot und zeigt charakteristische Absorptionserscheinungen: das Spektrum des durch eine dicke Schicht einer Chlorophylllösung oder auch durch grüne Blätter gegangenen Lichtes ist nämlich in der ganzen rechten Hälfte, vom Blau an dunkel und hat in der linken Hälfte vier an bestimmten Stellen liegende dunkle Bänder, von denen das im Rot zwischen B und C liegende Band I das charakteristischste ist, indem es schon bei ganz dünnen Flüssigkeitsschichten auftritt. Die Prüfung der Kohlen säure-Versezung bei Beleuchtung mit den verschiedenen Spektralfarben hat nun ergeben, daß zwar in keinem monochromatischen Lichte die Sauerstoffausscheidung so lebhaft ist wie im

gemischten Lichte, daß aber unter allen Farben das Rot am meisten leistet und daß das Maximum der Sauerstoffausscheidung ungefähr mit dem Absorptionsmaximum des Bandes I zusammenfällt. Gegen A sinkt die Ausscheidung rasch, langsamer nach der anderen Seite, wird jedoch schon vom Grün an schwach und bis zum Violett sehr schwach; eine minimale Assimilation findet vielleicht noch im Ultraviolett statt. Hiernach ist verständlich, daß jedes künstliche Licht nach Maßgabe seiner farbigen Strahlen und seiner Intensität die Assimilation der Pflanze einflüßt, doch ersetzt keines, auch nicht das elektrische, das Tageslicht in seiner Wirkung.

Die Temperatur hat insofern Einfluß, als in der Nähe von 0° auch bei genügendem Lichte die Kohlensäurezersetzung nur sehr schwach erfolgt und mit Erhöhung der Temperatur allmählich zunimmt.

Der Kohlensäuregehalt des Mediums spielt ebenfalls eine Rolle, denn bei Zunahme desselben steigt auch die Assimilation bis zu einem Optimum, welches für *Glyceria spectabilis* bei 8–10 pCt., für *Typha latifolia* bei 5–7 pCt., bei *Elodea* bei 5–10 pCt. Kohlensäuregehalt gefunden worden ist; jedoch gilt dieses nur unter Voraussetzung direkten Sonnenlichtes. Bei schwächerem Lichte kann auch ein solcher Überfluß an Kohlensäure nicht entsprechend verarbeitet werden und wirkt sogar auf die Pflanze schädlich.

3. Produkte der Kohlensäure-Assimilation. Das Assimilationsprodukt, welches aus Kohlensäure und Wasser in den Chlorophyllkörperchen entsteht, ist in den meisten Fällen Stärkemehl. Man kann dasselbe darin in Form kleiner Körnchen mikroskopisch nachweisen, und an der dunklen Färbung, welche sie mit Jod annehmen, als Stärke erkennen. Wenn die Assimilation aufhört, also im Dunkeln, verschwinden diese Stärkekörnchen wieder aus den Chlorophyllkörnern. Die darin erzeugte Stärke bleibt hier nur vorübergehend; sie wird beständig in Traubenzucker umgewandelt, und diese in Wasser lösliche Verbindung wandert dann von Zelle zu Zelle weiter, um aus dem Blatte nach den Verbrauchsorten zu gelangen. In solchen durch Dunkelheit entstärkten Chlorophyllkörnern entstehen bei Belichtung die Stärkeeinschlüsse wieder, bei den meisten Pflanzen schon nach 1 bis 2 Stunden in der direkten Sonne, nach etwas längerer Zeit im zerstreuten Lichte. Hält man aber die Objekte dabei in einer kohlensäurefreien Luft, so unterbleibt die Stärkebildung zum Beweise, daß die gebildete Stärke aus der Kohlensäure der Luft stammt. Zur Auswanderung der Stärke aus den Chlorophyllkörnern im Dunkeln genügen manchmal schon 4 Stunden, bei den meisten Pflanzen erfolgt sie während der Nacht vollständig. Die Blätter sind daher am Morgen und am Abend von sehr ungleichem Stärkemehlgehalte: vor Sonnenaufgang bisweilen ganz frei davon, beginnen sie schon in den ersten Tagesstunden die Bildung der Stärke und sind am Abend damit reichlich erfüllt. Wenn man bei Sonnenuntergang grüne Blätter abschneidet, sie durch Einlegen in Alkohol entfärbt und dann in eine Jodlösung bringt, so färben sie sich wegen ihres Stärkegehaltes schwarzblau. Vor Tagesanbruch gepflückte Blätter geben diese Jodreaktion nicht

mehr; doch ist vollständige Entleerung an Stärkemehl oft erst nach ganztägiger Verdunkelung des Blattes zu erwarten.

Die Bildung von Stärkemehl aus Kohlensäure und Wasser ist nach folgender Gleichung vorzustellen, aus welcher zugleich die thatsächlich erfolgende Ausscheidung des überschüssigen Sauerstoffes ersichtlich ist.

Ob freilich die Stärkekörnchen, welche in den Chlorophyllkörnern entstehen, das erste Assimilationsprodukt sind, ist zweifelhaft. Es wäre möglich, daß dies ein anderes Kohlenhydrat ist, z. B. eine Zuckerart, und daß erst aus dieser weiterhin Stärkemehl sich bildet. In der That hat man gefunden, daß in entstärkten Chlorophyllkörnern aus zuckerartigen Stoffen Stärkemehl entstehen kann, nämlich wenn man solche Blätter im Dunkeln auf die betreffenden Lösungen legt oder die letzteren durch die Wurzeln auffangen läßt. Es gelang dies mit Rohrzucker, Dextrose, Levulose und Maltose, nicht mit Milchzucker, Melitose, Inosit; bei Eleaceenblättern, in denen Mannit vorkommt, gelang dies auch mit diesem, bei Evonymus mit Dulcit und bei *Cacalia suaveolens* mit Glycerin. Auch giebt es einige Pflanzen, namentlich Monokotylen, wie *Allium*, *Asphodelus*, *Yucca*, *Orehis*, *Musa*, bei denen man selbst unter günstigen Assimilationsbedingungen die Chlorophyllkörner immer ganz stärkefrei findet; es enthalten aber dafür hier die grünen Zellen relativ viel lösliche Kohlenhydrate, und deren Menge nimmt im Dunkeln ab, im Lichte zu; und erst bei sehr gesteigerter Assimilation, z. B. bei 6—8 pCt. Kohlensäuregehalt der Luft, kommt es wirklich zur Bildung von Stärke in den Chlorophyllkörnern. Es wäre auch denkbar, daß Formaldehyd als erstes Assimilationsprodukt entstände. Man könnte sich dessen Bildung nach folgender Gleichung vorstellen.

Thatsächlich hat man auch aldehydartige Substanzen in grünen Pflanzenteilen gefunden. Aus Formaldehyd könnte durch Polymerisierung ein Kohlenhydrat entstehen. Jedenfalls ist die Frage, welches die erste organische Verbindung ist, die aus Kohlensäure und Wasser in der Pflanze entsteht, noch nicht entschieden.

II. Stickstoff nehmen viele chlorophyllhaltige Pflanzen aus Salpetersäure oder aus Ammoniak.

Salpetersaure Salze (Nitrate) und Ammoniaksalze können als in Wasser leicht lösliche Verbindungen von den Wurzeln mit Leichtigkeit aus dem Erdboden aufgesogen werden. In den allermeisten Böden sind schon von Natur kleine Mengen dieser anorganischen Stickstoffverbindungen vorhanden. Sie bilden sich hier nämlich beständig von neuem bei der Verwesung organischer Stickstoffver-

bindungen, also namentlich der Rückstände des vorhergegangenen Pflanzenwuchses (Wurzeln, Stoppeln, Blattabfall und der organischen stickstoffhaltigen Düngemittel). Bei der Verwesung dieser organischen Körper wird der Stickstoff derselben zu Ammoniak, ein anderer Teil geht als freier Stickstoff in die Luft verloren; das Ammoniak verwandelt sich aber im Boden bald in Salpetersäure (wird nitrifiziert), und die letztere steht dann den Pflanzen zur Verfügung; doch geht bei der Nitrifikation des Ammoniaks etwa 10 pCt. freier Stickstoff verloren. Aber auch von der Salpetersäure und vom Ammoniak verschwindet im Boden beständig ein Teil wieder. Das geschieht erstens infolge von Auswaschung durch das Regenwasser; ein Teil dieser Stoffe versinkt in den Untergrund; darum enthalten auch alle fließenden Gewässer und das Meerwasser kleine Mengen von Ammoniaksalzen und Nitraten aufgelöst. Zweitens kann durch gewisse Einflüsse im Boden auch wieder eine Reduktion der Salpetersäure unter Verschwinden eines Teiles des Stickstoffes eintreten. Bei dieser Denitrifikation ebenso wie bei der Nitrifikation im Erdboden sind gewisse niedere Pilze (Bakterien) beteiligt. Auch aus der Luft kommt ein wenig von Stickstoffverbindungen in den Erdboden; das Niederschlagswasser enthält $0,_{65}$ bis $6,_{8}$ Milliontel Ammoniak und $0,_{5}$ bis $6,_{21}$ Milliontel salpetrige und Salpetersäure. In die Luft gelangen diese Spuren von Ammoniak von den Verwesungsprozessen aus dem Erdboden, aus Ställen &c. und ein wenig dieser Verbindungen entsteht auch durch den elektrischen Funken bei Gewittern aus Stickstoff und Wasserdampf der Luft.

Wenn man Pflanzen in Wasserkulturen oder Sandkulturen (§. 55) zieht, in denen alle notwendigen Nährstoffe vertreten sind, jedoch in der einen Kultur gar keine Stickstoffverbindung, in der anderen ein Ammoniaksalz (welches unter diesen Umständen nicht nitrifiziert wird, also Ammoniak bleibt), in der dritten ein salpetersaures Salz gegeben ist, so entwickeln sich meist die in der stickstofffreien Kultur befindlichen Pflanzen nur sehr kümmerlich, die mit Ammoniak versorgten wesentlich besser, aber gewöhnlich noch lange nicht so gut und so normal wie die, welche Salpetersäure als Stickstoffnahrung erhalten haben (Fig. 23). Versuche mit verschiedenen Pflanzen, wie Mais, Hafer, Buschbohnen &c. geben übereinstimmend dieses Resultat, auch sprechen in dem gleichen Sinne die Ergebnisse zahlreicher vergleichender Düngungsversuche im freien Lande, wo auf einem und demselben Bodenstück drei gleichgroße Parzellen teils mit Chilisalpeter, teils mit schwefelsaurem Ammon, teils nicht gedüngt werden. Der Erfolg solcher Versuche mit Getreide, Kartoffeln, Zuckerrüben &c. war meistens der, daß Chilisalpeter dem Ammoniak sich mehr oder weniger, oft sehr entschieden überlegen zeigte; bisweilen hatten die Ammoniakparzellen überhaupt kein besseres Resultat als die ungedüngten, oder sie überholten dieselben erst gegen Ende der Vegetationszeit, was sich aus der im Erdboden vor sich gehenden allmählichen Nitrifikation des Ammoniaks erklärt. Wir schließen daraus, daß eine Ernährung mit Stickstoff sowohl durch Ammoniak als auch durch Salpetersäure möglich ist, daß

aber die letztere das weitaus bessere Nahrungsmittel ist und daß das Ammoniak seine Hauptwirkung auf die Pflanze erst äußert, wenn es nitrifiziert worden ist.

Zur Stickstoffdüngung benutzen wir daher: 1) Salpetersäure als Chilisalpeter (Natriumnitrat). 2) Ammoniak, meist als schwefelsaures Ammoniak. Aus den dargelegten Gründen ist aber erklärlich, daß Salpeterdüngung der Ammoniakdüngung bei der Pflanzenproduktion überlegen ist, und zwar wie sich erfahrungsmäßig ergeben hat, etwa im Verhältnis von 100:90 bis 80. Wichtig ist die Zeit der Stickstoffdüngung wegen der Verwitterung und chemischen Umsetzung, die diese Düngemittel im Boden erfahren, ehe sie von der heranwachsenden Pflanze verwertet werden können. Wenn der Winterroggen bei Düngung mit Chilisalpeter im Frühjahr 100 produziert, so liefert er, wenn ein Teil Chilisalpeter schon im Herbst, das meiste im Frühjahr gegeben wird, 73, und wenn sämtlicher Stickstoff in der entsprechenden Menge als schwefelsaures Ammoniak im Herbst gegeben wird, nur 14 Gewichtsteile Körner. 3) Organische Stickstoffverbindungen, nämlich in Gestalt von Kompost, Stallmist, Jauche, menschlichen Excrementen, Knochenmehl, Blut, Peruguano, Fischguano oder auch von Gründüngung. Nach obigem dürfte von diesen Düngemitteln die höchste Wirkung erst zu erwarten sein, wenn sie soweit verrottet sind, daß ihr Stickstoff in die Form von Salpetersäure übergegangen ist.

Bei der Assimilation der Salpetersäure und des Ammoniaks in der Pflanze muß daraus eine organische Stickstoffverbindung erzeugt werden; es ist ungewiß, ob sogleich ein Eiweißstoff oder zunächst ein Amid. Dazu bedarf es jedenfalls zugleich auch einer Kohlenstoffverbindung, nämlich des in den grünen Blättern erzeugten Stärkemehles oder eigentlich des Traubenzuckers, in welchen sich die Assimilationsstärke umsetzt und welcher aus dem Blatte nach den anderen Pflanzenteilen hingeleitet wird. In jedem beliebigen Pflanzenteile aber, wo die Salpetersäure mit einer geeigneten Kohlenstoffverbindung zusammentrifft, kann sie assimiliert werden. Die frühere Meinung, daß das Nitrat durch die Pflanze hinaus in die Blätter wandern müsse, um dort erst zusammen mit der im Chlorophyll assimilierten stickstofffreien Substanz zu stickstoffhaltigen Pflanzenstoffen verarbeitet zu werden, trifft nicht zu: das Chlorophyll ist daran unbeteiligt. Dies geht aus folgenden Thatsachen hervor. Die Assimilation der Salpetersäure geschieht nämlich bei den verschiedenen Pflanzenarten in verschiedenen Teilen. Wir schließen dies daraus, daß die von den Wurzeln aufgenommene Salpetersäure in verschiedenen Teilen der Pflanze verschwindet. Mittels des empfindlichsten Reagens auf Salpetersäure, welches wir besitzen, die Auflösung von Diphenylamin in Schwefelsäure, werden die geringsten Spuren von salpetersauren Salzen auch in den Pflanzengewebe durch eine starke Blaufärbung angezeigt. Bei gewissen Pflanzen läßt sich, selbst nach Nitratdüngung, in keinem Teile außer höchstens in den Wurzeln oder untersten Stengelteilen Salpetersäure nachweisen; so besonders bei fast allen Holzgewächsen, ferner auch bei Lupinen, Lathyrus &c. Wir schließen daraus, daß hier

die Assimilation der aufgenommenen Salpetersäure schon in der Wurzel erfolgt. Bei vielen anderen Pflanzen gelangt Salpetersäure auch noch unzerlegt bis in die Stengel und Blätter. Wieder andere Pflanzen sammeln sogar in den Sästen ihrer sämtlichen saftführenden Zellen in allen Wurzeln, Stengeln und Blättern überaus reichlich Nitrate an, bewahren dieselben unzerlegt während ihrer Vegetationszeit in diesen Zellen auf, um sie erst kurz vor der Ausbildung der Früchte zu verarbeiten. Das sind die eigentlichen Salpeterpflanzen, wie z. B. die Cruciferen, Chenopodiaceen, Kartoffeln, Gurken, Rüben, Tabak, Sonnenblume, *Urtica*, *Mercurialis* etc. Beim Buchweizen ist auch analytisch festgestellt, daß der Gehalt an Salpetersäure bis zur Zeit der Fruchtbildung zunimmt; diese Pflanze enthält davon in Prozenten der Trockensubstanz 12 Tage nach der Keimung 1,869, 33 Tage darnach, zur Blütezeit 2,273, 55 Tage darnach, zur Zeit der Fruchtbildung 2,422, und 85 Tage darnach, zur Fruchtreife nur noch 0,325. Auch wo diese verschiedenen Pflanzen beisammen auf einem und demselben Boden stehen, zeigen sie diese charakteristischen Unterschiede der Salpeterverteilung in ihrem Körper. Wo Nitrat sich in der Pflanze findet, ist es stets in den Parenchymzellen der Grundgewebe enthalten, also in den vorzüglich mit Saft erfüllten weitesten Zellen, die der Pflanze als Aufbewahrungsorgan von Lösungen im Wasser am besten taugen, denn wir finden es in der ganzen Wurzelrinde, in Mark und Rinde des Stengels und in den Parenchymzellen, welche in den Stielen und Rippen des Blattes als saftreiches Gewebe die Fibrovasalstränge umgeben. Dagegen bleiben die chlorophyllführenden Mesophyllzellen in der Regel frei oder fast frei von Nitrat. Ganz frei davon sind immer auch die aus Meristem bestehenden Wurzelspitzen, die sich ja überhaupt auch nicht an der Nährstoffaufnahme beteiligen, sowie die ebenfalls meristematischen Stengelfenden und jüngsten Blattanlagen, was eben damit zusammenhängt, daß die Zellen dieser Teile nur mit Protoplasma erfüllt sind und also keinen Saft Raum für Salpeterlösungen besitzen. Es ist nun auch bewiesen, daß alle Nitrate, welche in der Pflanze vorkommen, als solche von außen aufgenommen werden, nicht aus anderem Stoff in der Pflanze gebildet worden sind, denn selbst die ausgezeichnetsten Salpeterpflanzen enthalten keine Spur davon, wenn sie in nitratsfreien oder ammoniakhaltigen Nährlösungen gezogen werden.

Über die Assimilation der Ammoniaksalze, wo solche als Nahrung aufgenommen werden, sind wir noch nicht aufgeklärt. Wir wissen durch Versuche nur, daß daraus in der Pflanze niemals Salpetersäure entsteht, daß also wahrscheinlich aus Ammoniak direkt Amide gebildet werden. Das aufgenommene Ammoniak in der Pflanze selbst zu verfolgen, wird durch den Mangel einer brauchbaren mikroskopischen Reaktion auf Ammoniak und durch den Umstand vereitelt, daß Ammoniak in der Pflanze auch durch Umsetzung von Eiweißstoffen entstehen kann.

Die Pflanze hat nachweislich auch die Fähigkeit, verdünnte Lösungen von salpetersauren und Ammoniaksalzen durch die Blätter, wenn diese damit benetzt

sind, besonders an den Rippen und Gelenken, aufzunehmen und zu assimilieren; doch ist diese Quelle wegen der äußerst geringen Mengen jener Stoffe in dem Niederschlagswasser für die Pflanze ohne Bedeutung.

III. Freier Stickstoff als Nahrung der Pflanzen.

Die atmosphärische Luft ist ein Gemenge von ungefähr 77 Raumteilen Stickstoffgas und 23 Sauerstoffgas; sie erhält auch durch verschiedene an der Erdoberfläche vor sich gehende stickstoffentbindende Prozesse stetig neuen Zutritt an Stickstoffgas. Auch in den Erdboden dringt dieses Gasgemisch ein, und jedes natürliche Wasser auf der Erde enthält etwas Luft aufgelöst; so fanden sich in einem Liter frischen Regenwassers 20,50 ccm Luft, bestehend aus 13,46 N, 6,73 O und 0,31 CO₂. Somit ist freier Stickstoff den Pflanzen sowohl von der Luft aus, als auch durch das Wasser, welches sie aufnehmen, zugänglich.

Auch dieser unverbundene Stickstoff kann mehr oder weniger mit zur Ernährung der Pflanze verwendet werden, indem auch aus ihm unter gleichzeitiger Verarbeitung einer Kohlenstoffverbindung in den Pflanzenzellen organische Stickstoffverbindungen entstehen können. Der nähere chemische Prozeß hierbei ist freilich noch nicht aufgeklärt.

Jedoch ist für die meisten Pflanzen und auch für die landwirtschaftlichen Kulturpflanzen, mit den gleich zu nennenden Ausnahmefällen, der freie Stickstoff als einzige Stickstoffquelle keine genügende Nahrung; wenn ihnen nur dieser, aber keine Stickstoffverbindung (Salpetersäure oder Ammoniak, S. 66) zur Verfügung steht, so bleiben sie in ihrer Entwicklung und Stickstoffproduktion sehr unbedeutend (Fig. 23). Wenn aber durch Gegenwart einer geeigneten Stickstoffverbindung im Erdboden für eine kräftige Entwicklung der Pflanze gesorgt ist, so assimiliert letztere zugleich auch um so mehr freien Stickstoff, je reichlicher ihre Wurzel- und Blattbildung ausgefallen ist. Man kann dies durch folgenden Versuch beweisen. Wenn man Pflanzen aus Samen erzieht in einem mäßig stickstoffhaltigen Erdboden, der sich in Vegetationsgefäßen befindet, wo er keinen Verlust durch Auswaschungen erleiden kann, und wenn man die Pflanzen nur mit reinem destilliertem Wasser begießt und vor Regen schützt, so zeigt der benutzte Erdboden nach der Ernte ungefähr noch denselben Gehalt an Stickstoffverbindungen, den er vorher hatte, oder er hat darin sogar etwas gewonnen (Bereicherung durch Wurzelrückstände), obgleich die geerntete Pflanze das Quantum von Stickstoff, welches in dem ausgefäeten Samen enthalten war, um das Vielfache vermehrt hat.

Im Nebenstehenden mögen die Zahlen einiger der Versuche, welche ich in dieser Beziehung angestellt habe, das Gesagte beweisen.

Die nachstehende Tabelle zeigt, wie bei einer und derselben Pflanzenart Hafer die Menge des aus der Luft erworbenen Stickstoffs nach Bodenarten sehr ungleich ist, daß nämlich freier Stickstoff in viel größerer Menge gewonnen wird

im Lehmboden, durch dessen größeren Gehalt an gebundenem Stickstoff der Hafer besser ernährt wird und dadurch eine größere Luftstickstoff erwerbende Kraft erlangt, als in dem stickstoffarmen Sandboden. Zugleich zeigen diese Beispiele, wie die stickstofferwerbende Kraft der verschiedenen Pflanzenarten sehr ungleich ist, wie dies auf einem und demselben Sandboden sehr deutlich zwischen Hafer und Lupinen hervortritt.

Ausgesäet	Stickstoffgehalt des Bodens in Prozenten		Ernte	Stickstoff	
	vor dem Versuch	nach der Ernte		in den ausgesäeten Samen	in den geernteten Pflanzen
20 Lupinensamen (Sandboden)	0,0034	0,00558	49,4 g Trockensubstanz mit 57 Samen	0,180 g	0,7378 g
20 Haferkörner (Sandboden)	0,0035	0,00465	8,26 g Trockensubstanz mit 84 Körnern	0,0142 g	0,0368 g
20 Haferkörner (Lehmboden)	0,118	0,131	32,52 g Trockensubstanz mit 530 Körnern	0,0142 g	0,487 g
40 Rapsamen (Lehmboden)	0,118	0,125	30,18 g Trockensubstanz mit 254 reifen Schoten	0,0033 g	0,377 g
20 Körner Buchweizen (Sandboden)	0,0096	0,0178	10,354 g Trockensubstanz mit 111 reifen Körnern	0,0070 g	0,0816 g
0,669 g Samen von Ackerpörgel	0,0096	0,0101	16,755 g Trockensubstanz	0,0123 g	0,1106 g

Aber jedenfalls zeigt sich die Fähigkeit, freien Stickstoff in Pflanzenstickstoff umzuwandeln, bei Pflanzen aus den verschiedensten Familien: im Vorstehenden ist dies von Leguminosen, Gramineen, Cruciferen, Polygonaceen und Caryophyllaceen erwiesen. Ich habe auch gefunden, daß selbst bei ganz niederen Pflanzen, wie Schimmelpilzen, Algen und Moosen diese Fähigkeit vorhanden ist. In dieser Beziehung sind auch für den Ackerbau die erdbodenbewohnenden Algen nicht ganz ohne Bedeutung. Es kann sich nämlich der Erdboden auch ohne jede Vegetation höherer Pflanzen allmählich an gebundenem Stickstoff bereichern, und daran ist dann die Entwicklung dieser kleinen Algen schuld. So zeigte z. B. der Sandboden meiner Versuche, der anfangs einen Stickstoffgehalt von 0,0034 pCt. hatte, wenn er der Luft und dem Lichte, vor Regen geschützt,

ausgesetzt und nur durch reines, destilliertes Wasser feucht gehalten wurde, für sich allein ohne jede Vegetation, nach 134 Tagen einen Stickstoffgehalt von 0,00426 pCt. Das Mehr an Stickstoff findet sich dabei stets in Form einer Menge Algen, die sich während dieser Zeit aus ihren Keimen in dem Boden entwickelt haben (Formen von *Pleurococcus*, *Chlorococcum*, *Ulothrix*, *Oscillaria*). Daß in der That in diesem Falle die Stickstoffanreicherung auf der Vermehrung dieser Algen beruht, zeigen folgende Versuche. Es wurden je 180 g von leichtem Sandboden mit reinem Wasser befeuchtet in Glaskolben eingeschlossen und zeitweilig Luft eingeleitet, welche vorher in Schwefelsäure gewaschen worden und dadurch alle etwa vorhandenen Spuren von Ammoniakgas verloren hatte, also Stickstoff nur in elementarer Form zuführte. Während der 180tägigen Versuchsdauer entwickelten sich reichlich die Erdbodenalgen. Darnach war der Stickstoffgehalt des Sandbodens, der vorher 0,0045 pCt. betrug, auf 0,0065 pCt., in anderen Versuchen bis auf 0,0086 pCt. gestiegen. War der Boden vorher auf 100° C. erhitzt worden, wodurch die Algenkeime getötet wurden, oder standen die Kolben während des Versuches im Dunkeln, worin grüne Pflanzen sich nicht entwickeln können, so blieb das Auftreten der Algenvegetation aus und der Stickstoffgehalt des Bodens war dann auch nicht gestiegen, vielmehr gesunken auf 0,0037, beziehentlich 0,0027 pCt., weil immer ein Teil der stickstoffhaltigen Verbindungen des Erdbodens langsam zersetzt wird.

Es darf hiernach angenommen werden, daß die gesamte Pflanzenwelt bis zu einem gewissen Grade die Fähigkeit besitzt, freien Stickstoff in Pflanzensstickstoff umzuwandeln. Und jede, wie immer geartete Vegetation, von den kleinen erdbewohnenden Algen und den Moosen an, ebenso sämtliche Unkräuter, die sich auf den Kulturböden ansiedeln, werden etwas Stickstoff aus der Luft dem Erdboden in Gestalt von Pflanzensubstanz zuführen.

Die Leguminosen besitzen nun aber noch ein ganz besonderes Hilfsmittel, durch welches ihre Fähigkeit freien Stickstoff zu assimilieren so verstärkt wird, daß sie sogar jeder Stickstoffverbindung entbehren, also nicht bloß auf einem sehr stickstoffarmen, sondern sogar auf einem völlig stickstofffreien Boden wachsen und nur aus Luftstickstoff sich ernähren können. Es ist dies die Symbiose mit den Spaltpilzen, welche in den Pilzkammern, den sogenannten Wurzelknöllchen der Leguminosen leben (Fig. 20 u. 21). In welcher Weise hierbei Pflanze und Pilz zusammenwirken, ist S. 53 auseinandergelegt worden. Zum Belege der Wirkung der Symbiose auf die Erwerbung von freiem Stickstoff bei den Leguminosen sei auf unsere nebenstehende Figur 26 verwiesen, sowie auf die nachfolgenden Zahlen einiger diesbezüglichen Vegetationsversuche, die nach der Art der vorhererwähnten angestellt wurden. Hierbei wurde der Erdboden vorher sterilisiert, um die Keime der Symbiosepilze in demselben zu töten, und dann in dem Parallelversuche wieder mit solchen Keimen geimpft durch Zusatz einer kleinen Menge unsterilisierten Bodens. Die in dem ungeimpften Boden erwachsenen Lupinen blieben völlig

Fig. 26. Parallelkulturen von Erbfen im symbiotischen und nichtsymbiotischen Zustande; je 3 Kulturgefäße.

B Die symbiotischen Pflanzen im stickstofffreien Boden.

C Die nicht symbiotischen Pflanzen im gleichen Boden.

A Zum Vergleich der nicht symbiotischen Pflanzen nach Zusatz einer kleinen Gabe von Nitrat.
Nach photographischer Aufnahme.

ohne Wurzelknöllchen, also symbiossfrei; die geimpften hatten wie gewöhnlich Wurzelknöllchen.

Lupinen im stickstoffarmen Sandboden.

Ausfaat und Boden	Stickstoffgehalt des Bodens in Prozenten		Ernte	Stickstoff	
	vor dem Versuch	nach dem Versuch		in der Aus- faat und ev. Impfung	in den geernteten Pflanzen
6 Samen in sterilisiertem, ungeimpftem Boden	0,00962	0,01808	11,455 g Trockensubstanz mit 2 Samen	0,042 g	0,114 g
6 Samen in sterilisiertem, dann geimpftem Boden	0,00962	0,02432	38,754 g Trockensubstanz mit 86 Samen	0,048 g	0,777 g

Aber auch die Leguminosen können unter den gleichen Bedingungen wie die Nichtleguminosen, d. h. bei Vorhandensein einer gewissen Menge von Stickstoffverbindungen im Erdboden, also auf den besseren Bodenarten, selbständig, also ohne Hilfe von Symbiosepilzen freien Stickstoff assimilieren, nur wird durch die gleichzeitige Mithilfe der Symbiose auch hier noch mehr geleistet. Dies geht aus folgendem Versuchsbeispiele hervor, in welchem Erbsen, die in sterilisiertem Humusboden gewachsen und vollständig ohne Wurzelknöllchen also symbiossfrei geblieben sind, solchen Erbsen, welche Wurzelknöllchen entwickelt haben und also in Pilzsymbiose sich befinden, gegenüberstehen.

Erbsen im Humusboden.

Ausfaat und Boden	Stickstoffgehalt des Bodens in Prozenten		Ernte	Stickstoff	
	vor dem Versuch	nach dem Versuch		in der Aus- faat und ev. Impfung	in den geernteten Pflanzen
3 Samen in sterilisiertem, ungeimpftem Boden	0,1076	0,1316	27,061 g Trockensubstanz mit 28 Samen	0,0282 g	0,3705 g
3 Samen in sterilisiertem, dann geimpftem Boden	0,1076	0,1184	36,682 g Trockensubstanz mit 38 Samen	0,0325 g	0,6439 g

Wir haben also einen Gewinn von Stickstoff aus der Luft in einem gewissen Maße beim Anbau jeder Pflanze zu erwarten. Aber die Kultur eines ganz oder fast ganz stickstofflosen Bodens ohne jede Stickstoffdüngung ist doch nur mit Hilfe der Leguminosen möglich, selbstverständlich vorausgesetzt, daß der betreffende Boden die nötigen mineralischen Nährstoffe für die Pflanze enthält oder durch Düngung bekommen hat.

Die stickstoffammelnde Wirkung der Leguminosen auf leichten Böden ist auch im Ackerbau praktisch erwiesen worden, besonders durch Schulz in Lupig. Der dortige Ackerboden, ein lehmiger Sand, Anfangs 6. bis 8. Klasse, lieferte

Fig. 27. Kreislauf des Stickstoffs.

Es bedeutet:

EN = Erntestickstoff, d. h. den Stickstoff, welchen wir in den geernteten Pflanzen gewinnen.

Dieser leitet sich her aus den beiden folgenden Werten.

LN = Luftstickstoff, den die Pflanze zur Ernährung aus der Luft erwirbt.

BN = Bodestickstoff, den die Pflanze in Form von Stickstoffverbindungen aus dem Erdboden aufnimmt.

PN = Pflanzestickstoff, d. h. den Stickstoff, den die Pflanze bei der Ernte in Stoppel, Schnitten und Wurzelrückständen im Erdboden zurückläßt.

Denjenigen Stickstoff, welcher im Ackerboden infolge von Auswaschung in den Untergrund versinkt.

ln = Denjenigen Stickstoff, welcher bei der Zersetzung von Stickstoffverbindungen im Boden wieder frei wird und in die Luft entweicht.

Die Größe dieser Werte wird besonders je nach der Pflanzenart wechselnd sein. Es sind daher hier ungefähre Zahlenwerte eingefügt: von denen die großen ungefähr einer Leguminose, die kleinen eingeklammerten einer Nichtleguminose entsprechen würden.

(Frank u. Tschirch, Wandtafeln LV.)

zunächst nur 4 Zentner Roggen oder Hafer pro Morgen, nach Meliorierung durch Mergel, Kali und Phosphorsäure, jedoch ohne Stickstoffdüngung, aber nach einer Lupinenvorfrucht 7 bis 11 Zentner Weizen, 7 bis 10 Zentner Roggen,

7 bis 14 Zentner Hafer pro Morgen. Auf einem der Lupiger Äcker, der von Beginn der Kultur an niemals eine Stickstoffdüngung erhalten hatte, wurde ununterbrochen Lupinen gebaut und geerntet; die zwanzigste dieser Ernten repräsentierte 148 kg Stickstoff pro Hektar. Dabei betrug der Stickstoffgehalt des Bodens 0,07 bis 0,08 pCt. und diese Zahl stimmte nahezu überein mit der fünf Jahre früher gemachten Stickstoffbestimmung des Bodens dieser Lupinenwiesen, so daß also trotz dieser reichen Ernten ein Stickstoffverlust des Bodens nicht eingetreten war.

Die Fähigkeit der Pflanzen freien Stickstoff der Luft in organische Stickstoffverbindungen überzuführen, können wir benutzen, um aus dieser kostenlosen Quelle Stickstoffdünger zu schaffen. Die zu diesem Zwecke anzubauenden Gründüngungspflanzen vermehren den Stickstoff des Bodens um dasjenige Quantum, welches sie aus der Luft geholt und in feste Pflanzensubstanz umgewandelt haben. Die Leguminosen, als Pflanzen, deren Teile von Natur besonders reich an Stickstoff sind, taugen eben deshalb am besten zur Gründüngung, und gerade auf einem Boden, der noch so gut wie stickstofflos ist, sind sie aus dem oben angeführten Grunde die allein hierzu geeigneten Pflanzen. Aber wir haben aus dem Obigen gelernt, daß auf Böden, die schon in besserem Stickstoffgehalte sind, auch Nicht-Leguminosen, namentlich schnell und mäßig sich entwickelnde, wie z. B. weißer Senf, zur Gründüngung gebaut, durch ihre stickstoff-sammelnde Thätigkeit den Boden an Stickstoff bereichern oder den unvermeidlichen Stickstoffverlust des Bodens wenigstens ausgleichen und also stickstofferhaltend wirken können.

Wie man sich den Kreislauf des Stickstoffs beim Ackerbau vorzustellen hat, mag durch das umstehende Schema und dessen Erklärung erläutert werden. In demselben sind alle dabei mitspielenden Faktoren angegeben, und man wird sich mit Hilfe derselben leicht klar machen, wie nach den verschiedenen Werten, welche die einzelnen Faktoren je nach Umständen annehmen, der Aufbau der verschiedenen Kulturpflanzen stickstoffanreichernd oder stickstoffvermindernd auf den Ackerboden wirken wird.

IV. Organische Verbindungen als Kohlenstoff- und Stickstoffquellen der Pflanze.

Noch bis in die neuere Zeit wurde gelehrt, daß organische Verbindungen als solche keinen Nährwert für die Pflanzen besitzen, sondern nur insofern für die Ernährung Bedeutung haben, als sie sich bei ihrer allmählichen Verwesung in anorganische Verbindungen umwandeln, nämlich in Kohlen säure, Ammoniak, Salpeter säure, und diese erst von der Pflanze als Nahrung aufgenommen werden. Durch viele Entdeckungen der Neuzeit hat dieser Satz immer mehr seine allgemeine Gültigkeit verloren. Wir kennen jetzt drei Hauptformen von Ernährungsweisen, bei denen es auf Erwerbung organischer Nahrungsstoffe abgesehen ist: der Sapro-

phytismus (Ernährung aus Fäulnisstoffen), der Parasitismus (Schmarwbertum) und der Insektenfang.

A. Der Saprophytismus.

Diese Ernährungsweise liegt überall da vor, wo eine Pflanze aus lebloser Unterlage organische Verbindungen als Nahrung aufnimmt, gleichgiltig, ob sie außerdem auch noch gewöhnliche anorganische Pflanzennährstoffe erwirbt oder nicht. Wir können Pflanzen, welche aus solchen Quellen ihre Nahrung ziehen, als Fäulnisbewohner oder Saprophyten bezeichnen.

Eine große Anzahl von Pilzen ist obligatorisch auf solche Nahrung angewiesen. Denn die Pilze vermögen, da sie des Chlorophylls entbehren, überhaupt nicht aus Kohlensäure sich zu ernähren und müssen daher notwendig organische Kohlenstoffverbindung als Nahrung aufnehmen. Die saprophyten Pilze sind deshalb in ihrem Vorkommen gerade auf solche Orte angewiesen, wo organische Substanzen sich finden. So die zahlreichen humusbewohnenden Pilze, zu denen namentlich die größeren Wald- und Wiesenchwämme gehören, die als wahre Humuszehrer zu betrachten sind; ferner die totbewohnenden Schwämme, die auf Excrementen, Düngerplätzen u. vorkommen oder wie der Champignon auf Pferdebedung kultiviert werden; die Menge kleiner Pilze, die sich fast auf allen im Freien verwesenden Pflanzenteilen ansiedeln, endlich auch die Schimmelpilze, welche allerlei organische Kunstprodukte, wie Brot, Käse u. befallen, nicht minder auch die Hefepilze, welche aus zuckerhaltigen Flüssigkeiten, und die Fäulnisbakterien, welche aus faulenden organischen Substanzen sich ernähren. Bei den eben genannten Pilzen durchwuchert immer das Mycelium, soweit ein solches vorhanden ist, und welches das Ernährungsorgan derselben darstellt, das Substrat weit und breit, hier überall nicht nur gelöste Nahrungsstoffe auffaugend, sondern sehr oft auch feste Körper lösend, beziehentlich durchbohrend. Die Myceliumfäden lösen Stärkemehlkörner und selbst harte Zellmembranen auf; sie können z. B. die dicken Membranen der Holzzellen nach allen Richtungen durchbohren, wie die auf faulem Holze wachsenden Pilze und der im Bauholz wuchernde Hausschwamm zeigen. Auch der Humus ist in der Regel von Myceliumfäden reichlich durchzogen, welche die noch mehr oder weniger in ihrer Gewebestruktur erhaltenen Pflanzenreste, aus denen er besteht, nach allen Richtungen durchwühlen und auflösend zertrümmern. Die Zerstörungen, welche diese Pilze anrichten, hängen also mit ihrer Ernährungsthätigkeit zusammen. Auch die anderen chemischen Einwirkungen auf das Substrat, z. B. die Erregung der Fäulnis und Verwesung durch die Schimmelpilze und Fäulnisbakterien, fallen unter diesen Gesichtspunkt. Viele saprophyte Pilze hat man auch erfolgreich versucht mit bestimmten einzelnen organischen Verbindungen zu ernähren. Für viele Bakterien, Hefepilze und Schimmelpilze genügt zur Ernährung Zucker oder ein anderes lösliches Kohlenhydrat, oder auch Weinsäure, Traubensäure (von der

die rechtsdrehende Weinsäure aufgenommen wird, die linksdrehende zurückbleibt) oder andere organische Säuren oder Glycerin, wenn gleichzeitig eine geeignete Stickstoffverbindung, z. B. Ammoniak geboten ist, während Salpetersäure ein schlechtes Stickstoffnahrungsmittel für Pilze ist. Auch kann durch eine organische Stickstoffverbindung allein die Ernährung erfolgen: Eiweißstoffe, Peptone, Amide, wie Asparagin, Leucin, Tyrosin, Harnstoff, Hippursäure, Harnsäure, Glykokoll, Guanin, Creatin, Acetamid, Propylamin sind jedes für sich allein vortreffliche Pilznahrungsmittel. Darum werden auch Gelatine, Fleischextrakt, Fruchtdekothe u. zur künstlichen Kultur der saprophyten Pilze benutzt.

Höhere, mit Chlorophyll begabte Pflanzen können neben der gewöhnlichen anorganischen Ernährung fakultativ saprophytisch sein, d. h. gewisse organische Kohlen- und Stickstoffverbindungen mit benutzen, wenn sie ihnen dargeboten werden. Zunächst ist nachgewiesen, daß eine große Anzahl organischer Stickstoffverbindungen, die namentlich in den animalischen und vegetabilischen Düngemitteln vorkommen, von den Wurzeln direkt aufgenommen und in der Pflanze verarbeitet werden können. Die bisher freilich fast immer nur mit der Maispflanze angestellten diesbezüglichen Versuche haben dies ergeben für folgende Verbindungen: 1. Harnstoff, mit welchem Mais bis zur Körnerbildung kam, und der auch in der Pflanze als aufgenommen nachgewiesen wurde, 2. Harnsäure, welche schwächer und wahrscheinlich nur durch ihr Zerzeugungsprodukt, Ammoniak, wirkte, 3. Hippursäure, welche Hafer und Mais bis zur Körnerbildung ernährte und dabei in Glykokoll und Benzoesäure gespalten wurde, 4. Glykokoll, womit Mais zu reichlicher Körnerbildung gelangte, 5. Creatin, ebenfalls von günstiger Wirkung auf die Maispflanze, in welcher dasselbe noch teilweise unzersezt nachweisbar war, 6. Guanin, 7. Asparagin, 8. Leucin und Tyrosin, 9. Acetamid. Im Vergleich mit den anorganischen Stickstoffnahrungsmitteln hat sich aber herausgestellt, daß keine der genannten organischen Verbindungen in ihrer Wirkung der Salpetersäure gleichkommt, sondern höchstens diejenige der Ammoniaksalze erreicht. Wir lernen daraus, daß die tierischen Düngemittel, wie Jauche, Stalldung u. ihre größte Wirkung auf die Pflanzenernährung erst dann und in dem Maße ausüben, als ihre organischen Stickstoffverbindungen sich in Salpetersäure umsetzen.

Auch der Humus des Erdbodens, der aus pflanzlichen und tierischen Stoffen entsteht und ein Gemenge von kohlen- und stickstoffhaltigen organischen Verbindungen darstellt, kann der Pflanze vielfach wieder direkt zu Gute kommen. Gerade die mit Vorliebe oder ausschließlich auf humusreichen Böden wachsenden Pflanzen sind hierher zu rechnen und daher als Humusbewohner oder Humuszehrer passend zu bezeichnen. Hierher gehören nicht bloß die schon erwähnten humusbewohnenden Schwämme, sondern auch für viele der höheren grünen Pflanzen ist Humus ein direktes und vielleicht unentbehrliches Nahrungsmittel. Besonders gilt das von den mit Mykorrhizen (S. 49) versehenen Holzpflanzen, welche durch Vermittelung eben dieser humusbewohnenden Pilze sich aus dem Humus ihre

Nahrung zuführen zu lassen und ohne diese Hilfe nicht zur normalen Entwicklung gelangen, wie die S. 49 angeführten Vegetationsversuche beweisen. Auch die vielen humusliebenden Wiesenkräuter und die Moor- und Heidesträucher dürften durch Vermittelung der Pilze, welche sie in ihre Wurzel aufnehmen (S. 50), von dem Humus Nutzen ziehen. Ja es ist nicht unwahrscheinlich, daß auch die autotrophen Pflanzenwurzeln selbst vermittels ihrer Wurzelhaare humöse Erdbodenteilschen auflösen und für die Ernährung direkt wieder nutzbar machen können. Denn auf die meisten Kulturpflanzen ist ein gewisser Humusgehalt des Erdbodens unverkennbar von günstiger Wirkung. Daß letztere in der That von den organischen Bestandteilen des Humus ausgeht, lehrt folgender Versuch. Hafer wurde in gleichgroße Kulturgefäße gesät, welche nur humuslosen Sand enthielten. Die eine Anzahl wurde begossen mit einem Extrakt aus je gleichen Mengen vorher durch heißen Wasserdampf aufgeschlossenen Humusbodens, die andere Anzahl wurde begossen mit der in Wasser aufgelösten Asche ebensolcher gleichgroßer Extrakte. Die Kulturen, welche den Humusextrakt in organischer Form bekamen, lieferten 27,5 g, die, welche nur die Aschenbestandteile davon erhielten, 10,1 g Erntegewicht. Jedoch beweisen die hier erwähnten Vegetationsversuche mit humusbewohnenden Pflanzen höchstens, daß die unentbehrlichen Mineralstoffe in der chemischen Verbindung mit Humuskörpern oder die im Humus enthaltenen organischen Stickstoffverbindungen bessere Nahrungsmittel für die Pflanze sind, als in der unorganischen Form der daraus dargestellten Asche, sie beweisen aber nicht, daß es auf Erwerbung von Humuskohlenstoff abgesehen ist. Der Kohlenstoff kann ja von diesen chlorophyllhaltigen Pflanzen aus der Kohlensäure der Luft genommen werden. Indessen giebt es doch auch unter den Phanerogamen einige chlorophylllose Humusbewohner, nämlich *Monotropa hypopitys*, welche im Humus von Laub- und Nadelwäldern wächst, und die chlorophyllfreien walddhumusbewohnenden Orchideen *Neottia nidus avis*, *Corallorhiza innata*, *Epipogium Gmelini*. Wegen des Chlorophyllmangels ist hier die Humusernährung obligatorisch und zwar auch für Erwerbung des Kohlenstoffs die einzige Quelle. Diese chlorophylllosen Humusbewohner werden alle symbiotisch durch Pilze ernährt, nämlich *Monotropa* durch ectotrophische Mykorrhizen, welche genau mit denen der Koniferen und Karpuliferen übereinstimmen, die genannten Orchideen durch endotrophische Mykorrhizen, wie sie für die Orchideen überhaupt charakteristisch sind (S. 50).

B. Der Parasitismus.

Gewisse Pflanzen wachsen nur auf oder in den lebenden Körpern anderer Pflanzen oder der Tiere; solche Schmarozger oder Parasiten ernähren sich von den organischen Bestandteilen dieser fremden Lebewesen, die man ihre Wirte nennt. Wiederum sind dies hauptsächlich Pflanzen, welche des Chlorophylls und damit der Fähigkeit, aus Kohlensäure sich zu ernähren, entbehren; obgleich auch bei Vorhandensein von Chlorophyll Parasitismus vorkommt. Sehr groß ist daher

die Zahl der parasitischen Pilze. Manche derselben befallen tierische Körper, die meisten sind pflanzenbewohnend; ganze Abteilungen der Pilze, wie die Brandpilze, Rostpilze, die Peronosporaceen u. a. gehören zu den letzteren. Die Schmarogerpilze verursachen an den von ihnen befallenen Tieren oder Pflanzen bestimmte Krankheiten, was eben ein Beweis dafür ist, daß sie ihren Wirten bestimmte Bestandteile entziehen und zerstörend auf sie einwirken. Die meisten parasitischen Pilze besitzen ein aus fadenförmigen Zellen bestehendes Ernährungsorgan, das Mycelium, und legen dasselbe immer in zweckentsprechender Weise in denjenigen Organen des Wirtes an, aus welchen sie ihre Nahrung entnehmen müssen. Wir unterscheiden die pflanzenbewohnenden Schmarogerpilze in epiphyte und endophyte Parasiten. Bei den ersteren entwickelt sich das gesamte Mycelium auf der Oberfläche der Nährpflanze, es überzieht nur die Epidermis, allerdings meist mit kleinen, seitlich aus den Myceliumfäden getriebenen blasigen Fortsätzen (Haustorien) in das Innere der Epidermiszellen eindringend, wie bei den Mehltaupilzen. Die übergroße Mehrzahl der Schmarogerpilze ist endophyt, das Mycelium befindet sich im Innern des Pflanzenkörpers. Bei diesen bohrt sich der Keimischlauch, den die auf der Oberfläche des Pflanzenteiles keimende Pilzspore treibt, durch die Epidermis gerade hindurch und erwächst in den inneren Geweben zum Mycelium; hierbei wuchern die Pilzfäden entweder nur zwischen den Zellen der Nährpflanze, aber dieselben oft reichlich umklammernd oder umspinnend und auf diese Weise sie aussaugend, oder sie dringen sogar ins Innere der Zellen ein, dieselben auch innen erfüllend, ihre Membranen durchbohrend und schließlich auflösend und so das Zellgewebe ganz zerstörend.

Es giebt aber auch parasitische Phanerogamen, welche auf anderen Pflanzen wachsen und von diesen ihre gesamte Nahrung oder doch wenigstens gewisse Nährstoffe entnehmen. Wir unterscheiden hier l. chlorophylllose oder chlorophyllarme Parasiten. Hierher gehören folgende Phanerogamen.

a) Die Seidengewächse oder Cuscutaceen. Diese Pflanzenfamilie besteht aus Schmarogerpflanzen mit windendem Stengel, der keine grünen Blätter, sondern nur Blütenknäuel trägt und auch nicht mit einer Wurzel im Boden steht; er windet sich vielmehr um andere Pflanzen, derjenige der Flachsseide (*Cuscuta epilinum*) auf dem Flachs, der der Klee-seide (*C. epithymum*) auf Klee und viele andere Kräuter, der der gemeinen Seide (*C. europaea*) auf Nesseln, Hopfen, Hanf u. Die Samen der Cuscutaceen keimen auf der Erdoberfläche, aber die feinen Keimstengel umschlingen sehr bald in der Nähe wachsende Nährpflanzen. An der dem Wirt anliegenden Seite ihrer Stengelwindungen treiben sie Saugorgane oder Haustorien, womit hier nebenwurzelartige Bildungen bezeichnet werden, welche sich in den Nährstengel bis zu dessen Gefäßbündeln einbohren und mit ihm organisch verwachsen. Durch diese Organe bezieht der Parasit alle Nahrung aus der Wirtspflanze. In den Blütenföhlchen der Seidenarten sind zwar Spuren von Chlorophyll nachgewiesen, die auch thatsächlich schwache Kohlen-

säurezersehung zu stande bringen; doch ist dieser Prozeß so wenig ausgiebig, daß er die parasitische Ernährung nicht zu ersetzen vermag.

b) Die Würgerarten oder Orobanchaceen, ebenfalls eine phanerogame Parasitenfamilie, deren Stengel nur als eine einfache aufrecht stehende Blütentraube aus der Erde heraustritt. Die Arten von Orobanche, in denen ebenfalls Spuren von Chlorophyll sich finden, schmarnagen mit ihrer im Boden befindlichen zu einem Saugorgan angeschwollenen Stengelbasis in der Wurzel einer anderen Pflanze, z. B. der Kleewürger (*O. minor*) auf Krotke, der Hanfwürger (*O. ramosa*) auf Hanf und Tabak. Die ganz chlorophylllose *Lathraea squamaria* ist vermitteltst Haustorien, die sich an ihren aus dem Rhizom entspringenden Wurzeln bilden, mit lebenden Baumwurzeln verwachsen.

c) Die Balanophoraceen, nicht grüne Phanerogamen der heißen Zone, deren Blütenstände aus einem Knollen hervorstechen, welcher dünnen Wurzelzweigen anderer Pflanzen aufsitzt.

d) Die Rafflesiaceen, chlorophyllfreie Phanerogamen der heißen Zone, welche meist nur aus einer Blüte oder aus einem Blütenstande bestehen, der unmittelbar aus der Wurzel oder dem Stengel einer Nährpflanze hervorsticht.

2. Chlorophyllhaltige Parasiten. Es giebt einige Gewächse, welche im Besitz gewöhnlicher chlorophyllreicher Blätter sind, gleich anderen Pflanzen, und dennoch parasitische Lebensweise führen. Von denselben ist auch nachgewiesen, daß sie Kohlensäure mittels ihrer Chlorophyllkörner assimilieren. Bei ihnen werden also hauptsächlich wohl die stickstoffhaltigen und die mineralischen Nährstoffe durch den Wirt bezogen. Hierher gehören:

a) Die Loranthaceen, auf den Ästen von Bäumen wachsende Holzpflanzen, die hauptsächlich in den Tropenländern vorkommen, in Deutschland besonders durch die Mistel (*Viscum album*) vertreten sind, die auf mehr als 50 verschiedenen Laub- und Nadelbaum-Spezies auftritt. Von der Basis des Mistelstämmchens aus gehen durch die Rinde des Nährastes, besonders dem Kambium in der Längsrichtung folgend, die sogenannten Rindenwurzeln, von denen stellenweise wieder andere Fortsätze in radialer Richtung ins Holz eindringen, die sogenannten Senken, welche, indem ein Teil ihrer Zellen in entsprechender Weise verholzt und ein anderer Teil in der Gegend der Kambiumschicht bildungsfähig bleibt, an der Bildung des Holzkörpers des Nährastes teilnehmen. Durch diese Gewebeverbindung erscheint und funktioniert der Mistelbusch wie ein eigener Ast der Nährpflanze.

b) Die Wurzelparasiten aus den Familien Santalaceen und Rhizanthisaceen, erstere bei uns durch die Thesium-Arten, letztere durch die Gattungen *Melampyrum*, *Rhinanthus*, *Euphrasia*, *Pedicularis* vertreten, auf Wald- und Wiesenboden, teilweise auch als Unkräuter auf Ackerland wachsende und im Boden wurzelnde, daher wie gewöhnliche Pflanzen aussehende Kräuter. Dieselben lassen sich aber nur kultivieren, wenn neben ihnen andere grüne Pflanzen

wachsen, was damit zusammenhängt, daß ihre Wurzeln an zahlreichen Punkten kleine warzenförmige Verdickungen, Haustorien, besitzen, welche mit den Wurzeln anderer Pflanzen in Verwachsung treten und dadurch eine parasitische Ernährung zu stande bringen. In gewissen Fällen verwachsen aber diese Haustorien auch mit toten Pflanzentrümmern, und dann liegt gleichzeitig auch Saprophytismus vor.

C. Der Insektenfang.

Durch eigentümliche Einrichtungen vermögen einige wenige mit chlorophyllhaltigen Blättern versehene Phanerogamen nebenher auch tierische Nahrung zu verwerten. Zu diesen sogenannten insektenfressenden oder fleischverdaunenden Pflanzen gehören folgende: Die Fliegenfalle (*Dionaea muscipula*), bei der durch plötzliches Zusammenschlagen des durch Berührung gereizten Blattes Insekten, die sich auf ein solches gesetzt haben, gefangen werden, zweitens die auf unseren Mooren wachsenden Arten des Sonnentau (*Drosera*), deren Blätter oberseits mit vielen großen Drüsenhaaren besetzt sind, welche ein klebriges Sekret abgeben, an dem kleine Tierchen haften bleiben, über welchen sich dann infolge eines Reizes die Haare allmählich zusammenschlagen, ferner die ebenfalls moorbewohnenden Arten von *Pinguicula*, bei denen der Rand des Blattes über kleine Gefangene sich hinwegschlägt, endlich der in den Tropen heimische Stannienstrauch (*Nepenthes*) und die *Sarracenia*, bei denen die Blätter die Form kannenförmiger Schläuche haben, die zum Teil mit aus Drüsen ausgeschiedenem Wasser erfüllt sind, in welchem die Insekten ersaufen. Bei *Dionaea* wird von den auf der Blattoberfläche sitzenden, bei *Drosera* an den Drüsenköpfchen der Haare, bei *Nepenthes* und *Sarracenia* mit dem Wasser des Schlauches zugleich Pepsin abgeschieden, durch welches die eiweißartigen Stoffe der gefangenen Insekten, oder auch absichtlich aufgelegte Fleischstücke in Peptone umgewandelt, also verdaut werden. Zugleich wird auch freie Säure wahrscheinlich organische Säuren, unter denen Ameisensäure, Propionsäure, Buttersäure vorzukommen scheinen, abgesondert, durch welche Eiweißstoffe als solche in Lösung übergehen. Die Lösungen werden dann von der Pflanze aufgesogen, wahrscheinlich durch die saecernierenden Drüsen selbst. Bei einigen Pflanzen ist es gewiß, daß diese verdauenden Sekrete erst infolge der Reizungen ausgeschieden werden, wie bei *Drosera*, *Dionaea*, *Pinguicula*, wo entweder durch chemische Reize, besonders durch die Anwesenheit der zu verdauenden stickstoffhaltigen Körper, oder auch durch mechanische Reize die Sekretion in Gang kommt. Notwendig ist aber für diese chlorophyllhaltigen Pflanzen die Insektennahrung nicht, denn sie lassen sich auch ohne solche kultivieren. Aber einen Vorteil scheint ihnen tierische Nahrung zu gewähren, denn bei *Drosera* fand man, daß gefütterte Pflanzen etwas reichlicher Blüten, Samen und Trockensubstanz produzieren, als ohne animalische Nahrung vegetierende.

2. Kapitel.

Die mineralischen Nährstoffe und ihre Bedeutung.**1. Der Schwefel.**

Jede Pflanze und jeder Pflanzenteil enthalten Schwefel. Das ist erklärlich, weil dieses Element zur Konstitution der Eiweißstoffe gehört und darum zur Bildung des Protoplasmas jeder Zelle nötig ist. Daher steht auch der Schwefelgehalt der Pflanzenteile in einem gewissen Verhältnis zu dem Gehalt an Eiweißstoffen: in der Asche finden wir Schwefelsäure in Prozenten der Trockensubstanz, z. B. bei Lupinenkörnern 0,17, bei Roggenkörnern 0,02, bei Kartoffelblättern 0,54, bei Kartoffelknollen 0,24, bei Holz 0,025. Deshalb läßt sich auch keine Pflanze bei vollständigem Ausschluß des Schwefels zu normaler Entwicklung bringen. Die geeignetste Form, in welcher dieses Element zur Ernährung taugt, ist diejenige von schwefelsauren Salzen. Daher haben Kainit, schwefelsaures Ammoniak, Gips nicht bloß wegen des Kalis, Stickstoffs und Kaltes, sondern auch weil sie der Pflanze Schwefelsäure bieten, als Düngemittel Bedeutung; indessen ist bei dem geringen Gehalte der Eiweißstoffe an Schwefel das Bedürfnis der Pflanze nach diesem Elemente kein großes und darum ist auch die Versorgung der Pflanze mit Schwefel durch Düngemittel von untergeordneter Bedeutung. Wie der Schwefel aus den durch die Wurzel aufgenommenen Sulfaten für die Bildung der Eiweißstoffe assimiliert wird, ist nicht näher bekannt. Man findet denselben zum Teil noch in Form von schwefelsauren Salzen in den Pflanzen. Da in gefeimten Erbsen sich eine 2- bis 3fach größere Menge von Schwefel in Form von Schwefelsäure als in ungefeimten Erbsen findet, so ist die Schwefelsäure wahrscheinlich die Vorstufe bei der Bildung der Eiweißstoffe und scheint sich bei Auflösung der letzteren wieder zu bilden, um bei Regenerierung derselben in den neugebildeten Pflanzenteilen wieder verbraucht zu werden.

Wenige Pflanzen bedürfen des Schwefels auch noch zu anderen Stoffbildungen. So die Zwiebeln und andere Allium-Arten zur Erzeugung des schwefelhaltigen Knoblauchöls oder Schwefelallyls, und mehrere Cruciferen zur Bildung des Senföls oder Schwefelcyanallyls.

2. Der Phosphor.

Die Phosphorsäure steht ebenfalls in einer wichtigen Beziehung zu den Eiweißstoffen und zwar zu den Nucleinen, welche im Protoplasma der Zellen vorkommen, und aus welchen hauptsächlich die Zellkerne gebildet werden (S. 4), weil die Nucleine Verbindungen der Eiweißstoffe mit Phosphorsäure darstellen. Darum steigt auch der Gehalt an Phosphorsäure mit demjenigen an Eiweißstoffen. Wir finden z. B. an Phosphorsäure in Prozenten der Trockensubstanz in den Lupinenkörnern 1,65, im Lupinenstroh 0,44, im Leinsamen 1,53, in Roggenkörnern 0,98, im

Hoggenstroh 0,24, in Kartoffelknollen 0,65, im Holze 0,05. Ohne Phosphorsäure ist daher auch keine Pflanze zur Entwicklung zu bringen und bei dem relativ großen Bedarf, den die Pflanzen an Phosphorsäure haben, kann es oft im Boden daran fehlen; daher die ertragsteigernde Wirkung, welche in den meisten Fällen durch eine Düngung mit Phosphorsäure zu erzielen ist. Diese Säure wird von den Wurzeln in Form von Phosphaten aufgenommen. In vielen phosphorhaltigen Düngemitteln, wie in den natürlich vorkommenden Phosphoriten, in den Knochen und im Guano, sowie in der bei der Entphosphorung des Eisens gewonnenen Thomasschlacke ist die Phosphorsäure meist in unlöslicher Form, nämlich größtenteils als dreibasisch phosphorsaurer Kalk ($\text{Ca}_3\text{P}_2\text{O}_8$) enthalten. Im Superphosphat, in welches man den dreibasisch phosphorsauren Kalk durch Behandlung mit Schwefelsäure oder Salzsäure überführen kann, findet sich die Phosphorsäure als leicht löslicher einbasisch phosphorsaurer Kalk ($\text{CaH}_2\text{P}_2\text{O}_8$). Daher kann diese Verbindung besonders leicht von der Pflanze aufgenommen werden, und Superphosphat ist daher ein vorzügliches Düngemittel. Indessen haben sich auch die unlöslichen Phosphate auf die Pflanze als wirksam erwiesen, besonders wenn sie in möglichst feiner Verteilung gegeben werden, wie in der Form des gedämpften Knochenmehls, als präzipitierter phosphorsaurer Kalk und besonders in der Form der Thomasschlacke, die den höchsten Grad staubfeiner Zerteilung besitzt. Die Wirksamkeit dieser unlöslichen Phosphate hängt offenbar mit der Fähigkeit der Pflanze zusammen, kleinste feste Teile, mit denen die Wurzelhaare verwachsen, durch die Wurzelabscheidungen selbst aufzuschließen und dadurch aufnehmbar zu machen (S. 21). Wegen der Beziehung der Phosphorsäure zu den Eiweißstoffen muß sie den Pflanzen in einem richtigen Verhältnis mit dem Stickstoff geboten werden, um die größten Erfolge von ihr zu haben. Man darf ungefähr rechnen, daß ihre Menge zu dem Stickstoffgehalte der Pflanze wie 1:2 sich verhalten muß.

3. Das Chlor.

Das Chlor ist in Form von Chloriden ein ausnahmsloser Bestandteil aller Pflanzen, findet sich jedoch meist nur in einer geringen Menge, welche Bruchteile von Prozenten der Trockensubstanz nicht überschreitet. Nur in den kali- und natronreicheren Pflanzenteilen ist es etwas reichlicher enthalten, z. B. in den Futterrüben zu 2,25, in den Zuckerrüben zu 2,01 pCt. Sehr reich aber sind die sogenannten Salzpflanzen, die gerade ausschließlich auf hochsalzhaltigem Boden vorkommen, an Chlornatrium. Das Verhalten der Pflanzen gegenüber dem Chlor ist jedenfalls sehr ungleich. Während die eigentlichen Salzpflanzen sogar den stärksten Hochsalzgehalt des Bodens ohne Schaden vertragen, ist für die meisten andern Gewächse schon ein einigermaßen größerer Gehalt an Chlornatrium von giftiger Wirkung, indem z. B. schon 0,1 pCt. Hochsalz im Boden für Fichten nachteilig ist, und z. B. eine 1,2prozentige Auflösung von

Kochsalz in Wasser die Keimung von Raps, Klee, Hauf beeinträchtigt. Gewisse Pflanzen, wie der Ackerstachtelhaln, soll man durch Kochsalzdüngung ausrotten können. Auch Chlorkalium und Chlormagnesium wirken schon in geringen Konzentrationen nachteilig, weniger das Chlorkalium.

Aber die Meinung, daß das Chlor für die Ernährung der Pflanze ganz bedeutungslos ist, hat sich nicht bestätigt. Denn die Beobachtung, daß Buchweizenpflanzen ganz ohne Chlor bis zur Entwicklung einer Anzahl keimfähiger Samen gezogen werden konnten, spricht nur dafür, daß die in dem ausgesäeten Samen enthaltene geringe Menge Chlor zu einer notdürftigen Entwicklung ausreicht, beweist aber nicht, daß dem Chlor jeder Nutzen für die Pflanze abgeht. Im Gegenteil haben Versuche mit Buchweizen, Gerste, Hafer, Mais, Phaseolus gezeigt, daß diese Pflanzen bei vollständigem Ausschluß von Chlor sich schlecht oder garnicht entwickeln. Von dem Chlorkalium, welches ja wegen des Kalis auch als Düngemittel Anwendung findet, ist konstatiert, daß es die vorteilhafteste Form ist, in welcher das Kalium der Pflanze geboten werden kann. Wenigstens produzierten Buchweizenpflanzen in übrigens gleichen Nährlösungen mit Chlorkalium 387 Körner, in den Parallelkulturen mit saurem phosphorsaurem Kali 184, mit schwefelsaurem 147, mit salpetersaurem 150 Körner. Die eigentliche Rolle des Chlors in der Pflanze ist damit noch nicht genügend aufgehell. Bei den Salzpflanzen (*Salicornia*) ändert der Chlormangel nur den Habitus: die Pflanzen sind dann bedeutend dünner, garnicht saftig-fleischig und ganz undurchsichtig und dunkelgrün, weil die Parenchymzellen des Stengels 2 bis 4 mal enger sind als bei den mit Kochsalz erzogenen, wo die weiteren saftreicheren Zellen die charakteristische blaßgrün-durchsichtige, dick fleischig-saftige Beschaffenheit bedingen.

4. Das Silicium.

Kieselsäure ist in den meisten Pflanzen nur in sehr geringen Mengen enthalten; um so auffallender ist es, daß einige Gewächse in ihren Stengeln und Blättern ungeheuer reich daran sind. Zu diesen sogenannten Kieselpflanzen gehören die Getreidearten. Es enthalten z. B. davon in Prozenten der Trockensubstanz Roggenstroh 2,7, Weizenspelzen 12,17, Gerstengrannen 10,07; und zwar kommt hierbei überhaupt ein sehr großer Teil der Asche auf Kieselsäure, denn dieselbe beträgt in der Strohasche 50 bis 70, in der Asche der Spelzen und Grannen über 80 Prozent. Noch kieselreicher sind die Stachtelhalme (*Equisetum*), die je nach Arten in der Asche 66 bis 97 pCt. Kieselerde enthalten. Das Silicium ist als nirgendsfehlender Bestandteil des Bodens den Pflanzen in reichen Mengen geboten und wird von ihnen in Form löslicher Silikate aufgenommen. Das Silicium ist jedoch als eigentlicher und unentbehrlicher Nährstoff in strengem Sinne nicht zu betrachten. Seine Bedeutung liegt darin, daß die Pflanze es mit als Baustoff der Zellmembran als teilweisen Ersatz für Cellulose verwendet. Es ist namentlich bei den kieselreichen Pflanzen fast aus-

schließlich der Außenwand der Epidermiszellen eingelagert, die dadurch rauh und hart wird, und ist daher die Ursache der schneidenden Schärfe, welche die Blätter der Gräser, die Krautblätter des Getreides z. B. beizigen, und welche bei den Schachtelhalmern so weit geht, daß man diese Pflanzenteile zum Polieren, zum Zinnschleifen z. B. benützen kann. Auch bei einer ganzen Ordnung einzelliger Algen, den Diatomaceen, ist Kieselerde der Zellmembran eingelagert. Alle hier genannten kieselreichen Zellen lassen daher beim Verbrennen oder Verwesens ein Kieselgerüst oder einen Kieselpanzer zurück, an welchem noch alle Strukturverhältnisse der unverletzten Zellmembran erhalten sind. Der Nutzen der Kieselerde in der Pflanze beschränkt sich also wohl darauf, daß die Härte, welche die Außenhaut der Epidermis dadurch gewinnt, einen gewissen Schutz gegen Verwundungen durch Tierfrass z. B. verleiht. Größere Festigkeit der Pflanze aber wird durch die Kieselerde nicht erzielt, weil erstere ja durch die im Innern liegenden mechanischen Gewebe bedingt wird. Es haben auch die Vegetationsversuche bewiesen, daß selbst Getreidepflanzen in kieselunfreien Nährlösungen sich normal entwickeln, nur eben nicht die gewöhnliche Schärfe und Härte ihrer Blätter bekommen, sondern sehr weich bleiben.

5. Das Kalium.

Unter den Pflanzennährstoffen nimmt das Kalium einen wichtigen Platz ein. Wir finden es in allen Pflanzen und Pflanzenteilen und zwar in Form von Kalisalzen mit anorganischen, namentlich aber mit organischen Säuren. Es ist schlechterdings unmöglich, irgend welche Pflanze bis zu normaler Frucht- und Samenbildung zu ziehen, wenn man ihr sämtliche Nährstoffe außer Kali giebt. Bei dem allgemeinen und zum Teil hohen Bedürfnis der Pflanzen nach diesem Element kann der Ackerboden, der meistens ohnehin keinen besonders hohen Kaligehalt besitzt, leicht soweit an demselben erschöpft werden, daß eine Mangelkrankheit desselben für den Anbau von Pflanzen, namentlich von solchen mit stärkerem Kalibedarf, eintritt. Düngung mit Kalisalzen bewährt sich daher in vielen Fällen und erhöht die Ernten, besonders wenn zugleich für Phosphorsäure gesorgt wird. Als tauglich zur Ernährung können die anorganischen Kalisalze, namentlich schwefelsaures und phosphorsaures Kali und Chlorkalium gelten, obgleich der Effekt dieser einzelnen Salze je nach Pflanzenarten und Bodenverhältnissen zu wechseln scheint. Als vorzügliches Düngemittel verwenden wir den kainit, welcher schwefelsaure Kali-Magnesia darstellt, Karnallit oder andere Staßfurter Düngesalze. Auch die kalireichen Produkte oder Abfälle, wie Kartoffelschlempe, Rübenschnitzel, Melasse und Melassewasser, Traubenschalen und Trester, Weinlaub z. B. vermögen direkt oder nach Verfütterung dem Boden einen Teil seines Kalis wiederzugeben.

Die Rolle des Kaliums in der Pflanze ist noch nicht genügend aufgeklärt. Allerdings enthalten Pflanzen, welche besonders viel Stärkemehl oder Zucker bilden,

ziemlich viel Kali. So beträgt der Gehalt an Kali in Prozenten der Trockensubstanz in Kartoffelknollen 2,27, im Kartoffelkraut 1,86, in Wurzeln der Futterrüben 3,47, in Blättern der Futterrüben 4,68, in denen der Zuckerrüben sogar 5,00. Aber auch die krautigen Teile, wie Stengel und namentlich Blätter anderer Pflanzen sind nicht arm daran; es beträgt diese Zahl für süße Gräser 2,08, jungen Klee 3,59, Hafer in Schossen 3,35. In den Tabaksblättern steigt der Kaligehalt bis zu 3,69. Umgekehrt zeigen gerade die Samen keinen besonders hohen Gehalt daran; z. B. Haferkörner 0,51, Zuckerrübensamen 1,30, Lupinenkörner 1,17. Im Holze der Baumstämme kommen nur etwa 0,05 bis 0,15 Prozent der Trockensubstanz auf Kali. Aus Vegetationsversuchen mit Buchweizen wollte man schließen, daß das Kalium zur Bildung der Assimilationsstärke in den Chlorophyllkörnern, sowie zu deren Auswanderung aus denselben erforderlich sei. Dafür waren aber die Versuche nicht beweisend. Zieht man Bohnen oder Erbsen in kalifreier Nährlösung, so wachsen die Pflanzen zunächst unter Benutzung des im Samen vorhanden gewesenen Kaliums und bekommen eine Anzahl gut entwickelter Blätter; dann stockt das Weiterwachsen, doch oft setzt es sich weiter fort, indem in gleichem Maße die vorher gebildeten älteren Blätter wieder absterben; es wird nämlich dadurch das wenige Kalium dieser Organe wieder disponibel und den wachsenden oberen Teilen zu ihrer Ernährung zugeführt. Das Kalium erweist sich darin als ein in der Pflanze leicht bewegliches Element. Schränkt man das vorhandene Kalium dadurch auf die minimalsten Spuren ein, daß man bei Beginn der Keimung die Kotyledonen wegschneidet, so entwickelt sich die Pflanze in den kalifreien Nährlösungen in Zwergform, aber darin relativ viel weiter, weil die viel kleineren Organe einen geringeren Stoffbedarf haben. Selbst in solchen fast kalifreien Pflanzen lassen sich nachweisen: Kohlensäurezersehung, Bildung von Assimilationsstärke, Wanderung von Zucker, Aufspeicherung und Verbrauch von Stärke in der Stärkeseide, Bildung von Chlorophyll, von Gerbstoff. Man muß daraus schließen, daß das Kalium nicht zu einer speziellen einzelnen Stoffbildung bestimmt ist. Es macht eher den Eindruck, als würde das Kalium in einer gewissen Menge zur Bildung einer jeden Pflanzenzelle gebraucht, in ähnlicher wenn auch noch nicht näher erklärten Weise wie Stickstoff, Schwefel und Phosphor. Damit dürfte auch zusammenhängen, daß das Kali die jungen wachsenden Teile bevorzugt und nach ihnen hinwandert. Das Kalium ist für höhere Pflanzen durch kein anderes Element, insbesondere nicht durch das chemisch nahe verwandte Natrium ersetzbar. Wohl aber ist festgestellt, daß es bei Milzen durch Rubidium und Cäsium, nicht aber durch Natrium oder Lithium vertretbar ist.

6. Das Calcium.

Kalksalze kommen in allen Pflanzen und in allen Pflanzenteilen, in manchen in sehr großer Menge vor. Sie sind ja auch allgemeine, wenn auch in

der Menge sehr wechselnde Bestandteile aller Böden und aller irdischen Gewässer, wo sie meist in Form kohlensauren Kalkes, zum Teil auch als salpetersaurer Kalk oder in den phosphorhaltigen Düngemitteln als phosphorsaurer, bei Gipsdüngung als schwefelsaurer Kalk den Pflanzen dargeboten sind. Es ist ganz unmöglich, in künstlichen Kulturen bei Ausschluß von Calcium die Pflanzen auch nur einigermaßen zur Entwicklung zu bringen. So kann denn auch auf dem Ackerboden bei geringem Kalkgehalt leicht Kalkmangel eintreten und das Gedeihen der Pflanzen hindern. Daher erweist sich auf derartigen Böden eine Düngung mit Kalk oder ein Aufbringen von Mergel als eine vorzügliche Melioration, die, namentlich wenn zugleich für Kali und Phosphorsäure gesorgt wird, sehr günstig auf die Kulturpflanzen wirkt.

Das Calcium zeigt in der Pflanze ein wesentlich anderes Verhalten als das Kalium. Zwar in jedem Pflanzenteile vertreten, hat es doch seinen Hauptsitz in den Stengeln und älteren Blättern, in denen es sich sogar mit zunehmendem Alter immer mehr ansammelt und hier unbeweglich liegen bleibt, bis zum Absterben derselben, während seine Menge in den unterirdischen Teilen und in den Samen viel geringer ist. So enthalten z. B. an Kalk in Prozent der Trockensubstanz Kartoffelblätter 2,80, Kartoffelnollen nur 0,09; ferner Roggenstroh 0,41, gegen Roggenkörner 0,05, Erbsenstroh 1,88, gegen Erbsensamen 0,13. Tabakblätter enthalten 7,65, Hopfenblätter 7,67 Kalk. Im Holz der Baumstämme findet sich nur 0,02 bis 0,1 davon. Wir finden bei den meisten Pflanzen in den Geweben der Stengel, besonders in Rinde und Mark, sowie namentlich im Mesophyll der Blätter überall isoliert zwischen den übrigen Zellen, einzelne besondere Zellen mit großen Kristallen von oxalsaurem Kalk (S. 127), in denen diese Kristalle bis zum Tode des Pflanzenteiles nicht wieder verschwinden. Auch in den Samen findet sich der Kalk häufig in Form kleiner Kalkoxalatkristalle neben den stickstoffhaltigen Inhaltsbestandteilen der die Reservestoffe enthaltenden Zellen des Endosperms oder der Keimledonen. Dieser Kalk hat der Pflanze nur indirekt gedient: Salpetersäure und Phosphorsäure werden hauptsächlich als Kalksalze von der Pflanze aufgenommen, nach Abspaltung dieser zur Ernährung nötigen Säuren bleibt der Kalk, gebunden an eine zu diesem Zwecke von der Pflanze gebildete organische Säure, unverwendet in den Zellen liegen. Aber das Calcium muß noch eine andere direkte Rolle in der Pflanze spielen, denn wenn man jene anorganischen Säuren in anderer Salzform der Pflanze darbietet und das Calcium ganz ausschließt, so sterben z. B. bei Bohnen und Mais die Wurzeln sehr rasch und die junge Pflanze verwelkt und geht bald zu Grunde. Worin aber diese direkte Rolle besteht, ist unbekannt; man vermutet sie in einer Beziehung zur Bildung der Zellhaut oder der Kohlenhydrate überhaupt, denn tatsächlich zeigen die Zellhäute in ihrer Asche nicht unbedeutenden Kalkgehalt, und man findet Kalk in den Zellmembranen, namentlich als kohlensaurer Kalk, bisweilen auch in Form kleiner Kriställchen von oxalsaurem Kalk eingelagert. Für

die höhere Pflanze ist das Calcium auch durch kein anderes Element ersetzbar, während von Pilzen konstatiert ist, daß sich hier Calcium, Magnesium, Barium und Strontium gegenseitig vertreten können.

7. Das Magnesium.

Auch dieses Element ist ein allgemeiner Bestandteil der Pflanzen und zur Ernährung unentbehrlich. Aber die Rolle, die es in der Pflanze spielt, ist noch sehr wenig aufgeklärt. Nur das Eine steht fest, daß es in Form von Magnesiumsalzen vorkommt und keinem Pflanzenorgane fehlt, daß es aber umgekehrt wie das Calcium die Samen bevorzugt, so daß im allgemeinen die Samen reicher an Magnesium als an Calcium sind, während dem hohen Gehalt der vegetativen Teile an Calcium kein annähernder Gehalt an Magnesium entspricht. So finden wir z. B. in Prozenten der Trockensubstanz in Roggenkörnern 0,24, im Roggenstroh 0,13, in Erbsensamen 0,21, im Erbsenstroh 0,41, in Leinsamen 0,52, in Leinstengeln 0,23 Magnesia. In den sehr calciumreichen Tabaksblättern und Hopfenblättern steigt allerdings auch der Magnesiumgehalt auf 2,51 beziehentlich 1,16. Man glaubt daher die Bedeutung dieses Elementes in einer allerdings nicht näher aufgeklärten Beziehung desselben zu den Eiweißstoffen suchen zu müssen. Mikroskopisch sind Magnesiumsalze in der Pflanze nur nachweisbar in gewissen Einschlüssen der Meuronkörner der Samen, den sogenannten Globoiden, welche aus einer Verbindung von Phosphorsäure mit Kalk und Magnesia bestehen; doch dürften diese Gebilde nur die Form sein, in welcher Magnesia und Phosphorsäure als Reservestoff in den Samen aufgespeichert werden. Bemerkenswert bleibt es, daß bei den Pilzen das Magnesium auch durch Calcium, Barium und Strontium vertretbar ist.

8. Das Eisen.

Unter den schweren Metallen ist es allein das Eisen, welches für die Ernährung aller chlorophyllhaltigen Pflanzen notwendig ist, während es für die Pilze entbehrlich zu sein scheint. Wir finden dieses Metall allerdings nur in auffallend geringen Mengen in der Pflanze, und zwar in Form von Eisen Salzen. Es enthalten z. B. an Eisenoxyd in Prozenten der Trockensubstanz Roggenstroh 0,05, Roggenkörner 0,03, Maisstroh 0,07, Maiskörner 0,019, Kartoffelblätter 0,24, Kartoffelknollen 0,04, Tabaksblätter 0,56, Fichtennadeln 0,04, Fichtenholz 0,003. Bei Ausschluß von Eisen lassen sich die Pflanzen nicht zu normaler Entwicklung bringen, und aus den dabei auftretenden Erscheinungen geht deutlich hervor, daß das Eisen eine notwendige Beziehung zur Chlorophyllbildung hat, denn die Pflanzen bringen dann nur die ersten Blätter grün zur Entwicklung, soweit das im Samen enthaltene Eisen ausreicht; darauf bilden sich alle folgenden Blätter in gelber oder bleicher Farbe, die Pflanze bekommt die als Bleichsucht oder Gelbsucht bezeichnete Krankheit. Setzt man der Nährstoff-

Lösung eine Spur Eisensalz hinzu, so wandelt sich schon nach wenigen Tagen das Gelb der Pflanze in Grün um: die anfangs farblosen oder bläugelben Chlorophyllkörner erscheinen dann normal grün gefärbt. Läßt man aber die Nährlösung eisenfrei, so werden oft die ersten mittels des im Samen vorhandenen Eisens ergrüntes Blätter preisgegeben, sie sterben unter Verlust der grünen Farbe ab, und dafür werden plötzlich eins oder einige der jüngsten Blätter grün, augenscheinlich weil durch die Entleerung der ersten Blätter wieder etwas Eisen disponibel geworden. Es erweist sich also dieses Element im Hungerzustande der Pflanze in ähnlicher Weise beweglich, wie das Natrium. Bleibt das Eisen der jungen Pflanze vorenthalten, so geht die letztere nach kurzer Zeit ein, was bei dem Mangel des Chlorophylls und bei der dadurch bedingten Verhinderung der Kohlenstoffassimilation nicht anders zu erwarten ist. Die wichtige Bedeutung des Eisens für die Pflanzenernährung tritt dadurch klar hervor. Die nähere Beziehung dieses Metalls zum Chlorophyll ist unbekannt; die Vermutung, daß es zur chemischen Konstitution dieses Farbstoffes gehört, hat an Wahrscheinlichkeit verloren. Das Eisen kann in seiner ernährenden Rolle durch kein verwandtes Metall, wie Mangan, Kobalt oder Nickel, vertreten werden.

4. Abschnitt.

Was die Pflanze aus ihrer Nahrung macht.

Wie aus den rohen Nährstoffen die ersten Assimilationsprodukte hervorgehen, ist schon im vorigen Abschnitt gelehrt worden: aus Kohlenensäure und Wasser entsteht zuerst Stärkemehl, weiterhin Zucker; und aus Salpetersäure oder Ammoniak oder freiem Stickstoff unter gleichzeitiger Verarbeitung von Stärke oder Zucker erzeugt die Pflanze eine organische Stickstoffverbindung, nämlich Eiweiß oder zunächst eine Amidverbindung.

Aber diese ersten Assimilationsprodukte bilden nur das Material für eine Kette weiterer chemischer Vorgänge in der Pflanze, wodurch jene Verbindungen teils in allerhand neue Pflanzenstoffe umgewandelt werden, die im Leben der Pflanze eine wichtige Rolle spielen, teils aber auch wieder zerstört werden, wie das besonders bei der Atmung geschieht. Wir werden nun diese Vorgänge im gegenwärtigen Abschnitte näher kennen lernen.

1. Kapitel.

Übersicht der wichtigsten Pflanzenstoffe.

I. Die Kohlenhydrate.

A. Die Cellulose-Gruppe.

Die hierher gehörigen Verbindungen sind alle nach der Formel $C_6H_{10}O_5$ zusammengesetzt. Wir unterscheiden:

1. Cellulose oder Zellstoff, der hauptsächlich Bestandteil der Zellmembranen, ein in Wasser und den meisten anderen Flüssigkeiten unlöslicher, aber für Wasser imbibierbarer Körper. Seine wichtigsten Reactionen sind: Jodtinctur und verdünnte Schwefelsäure oder eine Auflösung von Jod mit Chlorzink-Jodkalium erzeugen eine blaue Färbung, konzentrierte Schwefelsäure, sowie eine Lösung von Kupferoxydammoniak bringen die Cellulose zur Auflösung. In den chemischen Eigenschaften der Cellulose gehört auch, daß sie sich durch Einwirkung von Säuren verzuckern läßt, wobei sie Dextrose liefert.

2. Stärkemehl, amyllum, ebenfalls ein Kohlenhydrat, ein in Form von je nach Pflanzenarten charakteristisch gestalteten Körnern im Innern der Zellen auftretender Stoff, der in kaltem Wasser unlöslich ist, daher nach Zerreiben oder Zermahlen der Pflanzenteile aus dem Waschwasser als weißes Mehl sich absetzt. Das Stärkemehl hat die Formel der Cellulose und zeigt auch dieser sehr ähnliche Reactionen. Denn die Stärkekörner sind in Alkohol, Äther und ähnlichen Flüssigkeiten unlöslich, aber mit heißem Wasser quellen sie zu einem Meiser (Stärkekleister) auf, und durch Jod allein werden sie bei Gegenwart von Wasser dunkelblau gefärbt.

3. Dextrin oder Stärkégummi. Bei der Invertierung des Stärkemehls in Zucker entstehen als Übergangsprodukte zunächst Körper, welche noch die Zusammenfügung des Stärkemehls zeigen, aber bereits in kaltem oder heißem Wasser löslich, in Alkohol aber unlöslich sind, und deren Lösungen den polarisierten Lichtstrahl nach rechts ablenken. Gegen Jod zeigen sie ein verschiedenes Verhalten, wonach man verschiedene Dextrine unterscheidet: die mit Jod nicht färbbare Form als Achroodextrin, die damit sich rötende als Erythro-dextrin, und die sich blauärbende als Amylodextrin. In geringen Mengen hat man Dextrin in vielen Pflanzensäften nachgewiesen.

4. Sinistrin, ein dem Dextrin ganz analoger, aber linksdrehender Körper, den man in Meerzwiebeln und anderen Monokotylen, auch in keimender Gerste gefunden hat.

5. Inulin, dem Stärkemehl gleich zusammengesetzt, aber im Saft der Zellen aufgelöst vorkommend, jedoch nur auf wenige Pflanzen beschränkt (Knollen der Georginen, Topinambur etc.), durch Jod sich nicht färbend, geschmacklos, in seiner Lösung den polarisierten Lichtstrahl nach links ablenkend und durch Alkohol in Form sogenannter Sphärokristalle, d. i. kugelförmige, konzentrisch aus strahligen Theilchen bestehende Gebilde, in den Zellen sich abscheidend.

6. Gummi und Pflanzenschleime sind Kohlenhydrate von der Formel der Cellulose, die aber dadurch charakterisiert sind, daß sie mit kaltem Wasser zu einer schleimigen, klebenden Masse aufquellen. Sie sind in Alkohol unlöslich und gehen durch Kochen mit Säuren ebenfalls in Traubenzucker über. Sie zerfallen in zwei Gruppen: erstens die echten Gummi- und Schleimarten, welche bei Behandlung mit Salpetersäure außer Trisäure auch Schleimsäure liefern und die

zugleich mit Jod keine Blaufärbung zeigen, und zweitens die der Cellulose verwandten Schleime, welche mit Salpetersäure behandelt, nur Oxalsäure geben und durch Jod blau oder violett gefärbt werden.

Mit dem Pflanzenschleim nahe verwandt sind die chemisch noch ungenau bekannten Pektinkörper oder Pflanzengallerten, welche in vielen saftigen Früchten vorkommen und deren Lösungen nach dem Einkochen zu einer Gallert gerinnen.

B. Die Traubenzucker-Gruppe.

Unter den echten Zuckerarten, d. h. den löslichen süßschmeckenden Kohlenhydraten, ist zunächst die vorstehend benannte Gruppe durch folgende gemeinsame Merkmale charakterisiert. Sie befolgen die Formel $C_6H_{12}O_6$, wirken reduzierend, d. h. sie bringen in einer Lösung von Kupfervitriol und Kalilauge beim Erwärmen einen roten Niederschlag hervor, indem sie das Kupferoxydsalz zu Oxidul reduzieren, und sind direkt gärungsfähig, d. h. sie werden durch Einwirkung von Hefe in Kohlensäure und Alkohol gespalten. Hierher gehören:

1. Traubenzucker, Krümelzucker, Dextrose oder Glykose, ein den polarisierten Lichtstrahl rechts drehender Zucker, welcher unendlich (krümelig) kristallisiert. Er tritt wie jeder Zucker gelöst im Saft der Zellen auf und ist die verbreitetste Zuckerart im Pflanzenreiche, denn er findet sich nicht nur in allen süßen Früchten neben Fruchtzucker, sondern ist auch in geringer Menge in Blättern, Stengeln und Wurzeln, sowie in den Honigabsonderungen der Blüten enthalten.

2. Fruchtzucker, Schleimzucker oder Laevulose, von dem vorigen dadurch unterschieden, daß er linksdrehend ist und einen nicht kristallisierenden Syrup bildet. Er tritt mit dem vorigen zusammen in den süßen Früchten und im Honig der Blüten auf.

C. Die Rohrzucker-Gruppe.

Hierher gehören Zuckerarten von der Formel $C_{12}H_{22}O_{11}$, welche Kupfervitriollösung nicht oder schwach reduzieren und meist nicht direkt gärungsfähig sind, sondern erst nach Umwandlung in eine der vorigen Zuckerarten Alkohol liefern. Die wichtigsten hierher gehörigen Zuckerarten sind folgende:

1. Gemeiner Zucker, Rohrzucker, Rübenzucker oder Saccharose. Dieser deutlich kristallisierende und rechtsdrehende Zucker ist derjenige, den uns das Zuckerrohr, die Rüben und andere Zuckerpflanzen, wie Mohrrüben, Zuckerhirse, Zuckerhorn liefern.

2. Malzzucker oder Maltose, in der keimenden Gerste, kristallisierbar, stark rechtsdrehend, Kupfervitriollösung schwach reduzierend, direkt gärungsfähig.

3. Schwammzucker oder Mykose, in vielen Pilzen.

4. Sphnanthrose, in den Knollen von Kompositen.

II. Die Pseudozucker.

Darunter verstehen wir süßschmeckende Pflanzenstoffe, die aber von den echten Zuckerarten sich dadurch unterscheiden, daß sie nicht zu den Kohlenhydraten gehören, sondern in ihrer Zusammensetzung einen Mehrgehalt an Wasserstoff zeigen. Der bekannteste ist der Mannit, der in vielen Pilzen und namentlich in der Manna vorkommt, einem Sekret, welches aus den Stämmen gewisser Bäume, besonders der Mannaeſche, ausschwißt.

III. Die Glykosiide.

Auch dieses sind neutrale, in Wasser lösliche und krystallisierbare, nicht flüchtige Verbindungen, welche aber meist durch bitteren Geschmack ausgezeichnet sind und besonders dadurch sich charakterisieren, daß sie unter Aufnahme von Wasser sich in neue Körper spalten lassen, wobei das eine Spaltungsprodukt Zucker (Glykose) ist. Diese Zersetzung kann durch Kochen mit verdünnten Säuren oder Alkalien bewirkt werden; sie geschieht aber auch in der Pflanze, und zwar durch die Einwirkung gewisser Fermente, die in diesem Falle vorhanden sind. Es giebt sehr viele Glykosiide, deren jedes aber nur einer oder wenigen Pflanzenarten eigen ist. Wir unterscheiden:

A. Stickstoffhaltige Glykosiide. Hierher gehören:

1. Amygdalin, in den bitteren (nicht in den süßen) Mandeln, sowie in Samen, Blättern und Rinden anderer Amygdalaceen. Die bitteren wie süßen Mandeln enthalten ein Ferment, Emulsin, welches in Berührung mit dem Amygdalin dieses spaltet in Bittermandelöl, Blausäure und Traubenzucker. Diese Einwirkung tritt aber erst an den zerriebenen Samen auf, weil beide Stoffe in verschiedenen Zellen enthalten sind.

2. Myronsäure, ein schwefel- und stickstoffhaltiges Glykosid in den Samen des Senf. Der letztere enthält zugleich ein Ferment, das Myrosin, welches wiederum erst nach Zerreiben der Samen, die Myronsäure spaltet in Senföl und Zucker.

3. Solanin, eine giftige organische Base, welche allen Solanum-Arten eigen ist, nachweisbar durch rosenrote Färbung, welche sie mit Salpetersäure giebt. Das Bittersüß (*Solanum Dulcamara*) enthält es ziemlich reichlich; in der Kartoffelpflanze kommt es nur in geringen Mengen vor, und zwar in den Knollen in mehreren zunächst unter der Schale liegenden Zellschichten, aber auch in den Kartoffeltrieben.

B. Stickstofffreie Glykosiide. Von diesen giebt es eine große Anzahl, sie treten meist in Rinden und Wurzeln auf; so das Salicin oder Weidenbitter in den Weidenrinden, das Populin in den Pappelrinden, das Phloridzin in der Rinde der Obstabäume, das Askulin in der Roßkastanienrinde, das

Fraxinin in der Eschenrinde, das Glycyrrhizin in der Süßholzwurzel, das Enzianbitter in der Enzianwurzel, Hesperidin in den unreifen Orangen, das Digitalin als der giftige Bestandteil von Digitalis, zc. Koniferin ist ein im Kambium und Holze der Nadelbäume und auch bei anderen Pflanzen aufgefundenes Glykosid, welches durch Einwirkung von Fermenten in Zucker und Koniferinalkohol sich spaltet; aus letzterem hat man durch Oxydation das Aldehyd Vanillin, den aromatischen Bestandteil der Vanille künstlich darstellen können. Hierher gehört auch das Lupinin, der bittere Stoff der Lupinen.

Es giebt auch eine Anzahl Bitterstoffe, welche nicht Glykoside sind, weil sie nicht wie die vorigen durch Spaltung Zucker liefern: so das Hopfenbitter oder Lupulin in den Drüsen der Hopfenkägchen, das Wermutbitter oder Absinthin, das Aloebitter oder Aloin, das Quassienbitter zc. Das Phloroglucin, welches in zahlreichen Pflanzen, besonders in Holzgewächsen vorkommt, ist ein Spaltungsprodukt mancher der genannten Glykoside und der Gerbstoffe.

IV. Die Gerbstoffe

oder Gerbsäuren sind eine wegen ihrer allgemeinen Verbreitung im Pflanzenreiche wichtige Gruppe von Stoffen, die aus Kohlen-, Wasser- und Sauerstoff bestehen, in Wasser und in Alkohol löslich, nicht kristallisierbar, geruchlos, aber durch ihren adstringierenden Geschmack ausgezeichnet sind und die Eigenschaft besitzen, tierische Haut zu gerben, d. h. in Leder zu verwandeln. Sie können chemisch als ätherartige Verbindungen der Gallussäure oder einer anderen Säure mit einem Zucker oder mit Phloroglucin oder mit einer zweiten spezifischen Säure betrachtet werden und stehen also den Glykosiden am nächsten. Sie haben den Charakter schwacher Säuren und werden namentlich durch die Bildung dunkelgrüner oder schwarzblauer Niederschläge, die sie mit Eisenoxydsalzen geben (Tinte), erkannt und unterschieden. Zu den eisenbläuenden gehören besonders die Galläpfelgerbsäure, Gallusgerbsäure oder Tannin in den verschiedenen Gallen der Eiche, und die Eichengerbsäure in der normalen Eichenrinde, zu den eisengrünenden diejenigen der Weiden-, Ulmen-, Erlenrinde, die Catechugerbsäure im Catechu, die Kaffeegerbsäure in Blättern und Samen des Kaffeebaumes, die Chinagerbsäure in den Chinarinden zc.

V. Die organischen oder vegetabilischen Säuren.

Dies sind Verbindungen von Kohlen-, Wasser- und Sauerstoff, welche im Wasser löslich sind und den Charakter von Säuren haben. Sie sind allgemein in den Pflanzen zu finden, teils mit mineralischen Basen zu neutralen oder sauren Salzen verbunden, teils im freien Zustande, weshalb die meisten Pflanzensäfte sauer reagieren, manche sogar stark sauer schmecken. Die Zahl der Pflanzensäuren ist eine sehr große; zu den weiter verbreiteten gehören folgende:

1. *Mlecz- oder Oxalsäure*, $C_2 H_2 O_4$, jedenfalls die verbreitetste, vielleicht kaum einer Pflanze fehlende Säure, welche bisweilen als saures Natriumsalz in den Zellsäften gelöst, am häufigsten aber als Kalkoxalat in Form von Krystallen auftritt (Fig. 37).

2. *Äpfelsäure*, $C_4 H_6 O_5$, theils frei, theils als Natrium- oder Calciumsalz im Saft unreifer Äpfel, Vogelbeeren und der meisten anderen sauren Früchte zusammen mit den nächstfolgenden Säuren, aber auch in grünen Pflanzentheilen, z. B. in den sauren Säften der Succulenten und vielfach andernwärts.

3. *Weinsäure oder Weinsteinsäure*, $C_4 H_6 O_6$, theils im freien Zustande, theils als neutrales oder saures Natrium- oder Calciumsalz, besonders reichlich im Saft der Trauben und in anderen Theilen des Weinstockes, aber auch in vielen andern sauren Früchten und in geringer Menge auch in Blättern, Wurzeln, Rinden vieler anderer Pflanzen.

4. *Citronensäure*, $C_6 H_8 O_7$, im freien Zustande reichlich in den Citronen, jedoch auch in anderen sauren Früchten, und als Natrium- oder Calciumsalz in Blättern, Wurzeln, Rinden vieler anderer Pflanzen.

5. *Ameisensäure*, $CH_2 O_2$, welche in den Zellen der Brennhaare der Brennessel und anderer nesselnder Pflanzen in besonders reicher Menge gebildet wird, ist in geringen Quantitäten auch in den verschiedensten Theilen zahlreicher Pflanzen nachgewiesen worden.

6. *Essigsäure*, $C_2 H_4 O_2$, diese durch Oxydation des Alkohols künstlich darstellbare Säure hat man in kleinen Mengen auch in vielen Pflanzen in den verschiedensten Theilen derselben gefunden.

Auf einzelne wenige Pflanzen beschränkte organische Säuren sind z. B. die *Valdriansäure*, $C_5 H_{10} O_2$, in den Wurzeln des Baldrians, der Angelica, von *Viburnum opulus* u., die *Bernsteinsäure*, $C_4 H_6 O_4$, in geringer Menge im Weinstock, Wermut, Lattich u., die *Fumar säure*, $C_4 H_4 O_4$, besonders in Fumariaceen, wie *Fumaria*, *Corydalis*, die *Chelidonsäure* $C_7 H_4 O_6$, in *Chelidonium majus*, die *Melonsäure*, $C_7 H_4 O_7$, im Milchsaft des Mohns, die *Aconitsäure*, $C_6 H_6 O_6$, in *Aconitum* und *Delphinium*, und manche andere.

VI. Die Fette und fetten Öle

sind aus Kohlen-, Wasser- und Sauerstoff zusammengesetzte, bei gewöhnlicher Temperatur bald flüssige, bald weiche, bald feste, aber mit Wasser sich nicht mischende, sondern auf demselben schwimmende, ohne Zersetzung nicht flüchtige Körper, welche als salzartige Verbindungen aufgefaßt werden müssen, indem man sie zerlegen kann in Glycerin und eine Säure aus der Reihe der sogenannten fetten Säuren. Je nach der letzteren giebt es daher eine ganze Anzahl verschiedener Fette. Die bei gewöhnlicher Temperatur flüssigen eigentlichen Öle bestehen hauptsächlich aus Olein, d. h. aus einem Fett, dessen fette Säure Olein-

säure ist. Die meisten Fette der Früchte gehören hierher, wie Rapsöl, Leinöl, Hanföl, Mohnöl, Sonnenblumenöl, Olivenöl u. Die bei gewöhnlicher Temperatur halbfesten Fette sind teils Palmitine, teils Stearine, d. h. solche, in denen Palmitin- beziehentlich Stearinsäure mit Glycerin verbunden sind. Dahin gehören die verschiedenen Palmenfette, die Cacaobutter, Muskatbutter u. Übrigens sind die in den Pflanzen auftretenden Fette meist immer Gemenge verschiedener Fettarten, und ihr größerer oder geringerer Flüssigkeitsgrad hängt von den Mengenverhältnissen ab, in denen die verschiedenen Fettarten gemengt sind. Die Fette sind immer Produkte des Zellinhaltes; in Form kleiner Tröpfchen treten sie wie eine Emulsion im Protoplasma auf oder sind mit dem letzteren optisch nicht different gemengt. Kleine Quantitäten Fettes enthält das Protoplasma vielleicht in allen Pflanzenzellen: in den Zellen der Samen finden sich große Mengen davon im Protoplasma.

Wachs ist ein bei gewöhnlicher Temperatur festes Fett: es findet sich bei den Pflanzen häufig als Ausscheidung auf der Außenseite der Oberhaut.

Zu den wachsartigen Verbindungen gehören die Korksubstanz oder das Suberin und die Cuticularsubstanz oder Cutin, erstere ist der Hauptbestandteil der Zellhäute der Korkzellen, letztere derjenige der Cuticula der Epidermis (S. 23).

VII. Die ätherischen oder flüchtigen Öle.

Dies sind ebenfalls flüchtige Stoffe, die aber durch Flüchtigkeit und daher durch Geruch sich auszeichnen und welche die mannichfaltigen Wohlgerüche und den gewürzhaften Geschmack der Pflanzen bedingen. Es sind meist überaus kohlenstoffreiche Verbindungen. Nach ihrer chemischen Konstitution unterscheiden wir folgende riechende Öle:

1. Sauerstofffreie ätherische Öle oder Kohlenwasserstoffe.

A. Terpene von der Formel $C_{10}H_{16}$.

1. Pinen, der Hauptbestandteil des deutschen und amerikanischen Terpentins, welches für die Pinus-Arten charakteristisch und je nach der Herkunft linksdrehend (deutsches, französisches und venetianisches oder rechtsdrehend (z. B. australisches) ist, ferner des Wachholderöls u.

2. Rechts-Limonen, Hesperiden, Citren oder Carven, der Hauptbestandteil des Pomeranzensöls, Dillöls, Kümmelöls u. und mit Pinen gemischt in Citronenöl.

3. Links-Limonen, neben Links-Pinen im Fichtennadelöl.

4. Sylvestren, der rechtsdrehende Hauptbestandteil des schwedischen und russischen Terpentins.

5. Kautschuk, Federharz, Gummi elasticum, ein Hauptbestandteil der

Milchsäfte, in denen es in Form sehr kleiner Kügelchen suspendiert ist, die beim Eintrocknen sich zu einer erhärtenden elastischen Substanz vereinigen.

B. Cymol, von der Formel $C_{10}H_{14}$, besonders im Römisch-Kümmelöl in den Früchten von *Cuminum cyminum*.

2. Sauerstoffhaltige ätherische Öle.

Hierher gehören besonders die Kampherarten, welche sich von den Kohlenwasserstoffen durch Gehalt an Sauerstoff und besonders dadurch unterscheiden, daß sie fest sind. Die wichtigsten sind:

Der Japankampher,

der Borneokampher,

das Menthol oder der Menthakampher, der Hauptbestandteil des Pfefferminzöls. Das Thymol, welches im Thymianöl, und das Carvol, welches im Kümmelöl vorkommt; das Zimtaldehyd, der Hauptbestandteil des Zimtöls; ferner das Coumarin *Asperula odorata*, im Ruchgras, *Anthoxanthum odoratum*, in *Melilotus* &c.

3. Schwefelhaltige ätherische Öle.

Als in der Pflanze fertig gebildete Verbindungen dieser Art sind zu nennen das Knoblauchöl oder Allylsulfid $(C_3H_5)_2S$ in *Allium sativum* und manchen Cruciferen, wie *Thlaspi arvense* etc. sowie das Vinylsulfid $C_2H_3_2S$ in *Allium ursinum*. Dagegen entsteht das Senföl, Allylsenföl, $CS:N.C_3H_5$ im Samen des schwarzen Senfs erst durch Spaltung des darin enthaltenen Glykosides Myronsäure (S. 93).

VIII. Die Harze.

Die Harze sind amorphe, spröde, glasglänzende Massen von muscheligem Bruch, welche in Wasser unlöslich, dagegen in Alkohol, Äther und Terpentinöl löslich sind und welche meist Oxydationsprodukte der ätherischen Öle darstellen, mit denen sie daher auch das Vorkommen in der Pflanze teilen. Oft sind sie sogar in ihren ätherischen Ölen gelöst; solche Mischungen heißen Balsame. Oder sie kommen mit Gummi oder Schleim gemengt als sogenannte Gummiharze oder Schleimharze bei vielen ausländischen Pflanzen vor. Das Fichtenharz hat das gleiche Vorkommen wie das Terpentinöl, dessen Oxydationsprodukt es ist; in den Koniferen ist es daher immer mit Terpentinöl gemengt. Dieses Gemenge heißt Terpentin; im reinen, vom Öl befreiten Zustande stellt es das Kolophonium dar.

IX. Die Pflanzenbasen oder Alkaloide,

Verbindungen von Kohlen-, Wasser-, Sauer- und Stickstoff, welche den Charakter von Alkalien tragen und durch einen meist sehr bitteren Geschmack und vor allem

durch heftige Giftwirkung auf den tierischen Organismus sich auszeichnen. In jeder Giftpflanze finden sich als wirksames Prinzip ein oder mehrere Alkaloide. So z. B. die Alkaloide Morphinum, Codein, Thebain, Papaverin, Narcotin und Narcein im Opium, dem Milchsafte des Mohns, das Chinin, Cinchonin, Chinidin und Cinchonidin vorwiegend in der Rinde der Chinabäume, das Atropin in Kraut und Früchten der Tollkirsche, das Daturin und Hyoscyamin in allen Teilen des Stechapfels und Wilsenkrautes, das Colchicin in den ober- und unterirdischen Organen der Herbstzeitlose, an gleichen Stellen das Veratrin bei Veratrum, das Aconitin bei Aconitum, das Strychnin und Brucin in den Früchten von Strychnos, das Caffein oder Thein in den verschiedensten Teilen des Kaffee- und Theestrauches etc.

X. Die Eiweißstoffe, Albuminate oder Proteine.

Neben den Kohlenhydraten sind dies die wichtigsten und verbreitetsten Pflanzenstoffe, für die Pflanze ebenso unentbehrlich wie für den Tierkörper, weil sie den wesentlichen Bestandteil des Protoplasma der Zellen ausmachen. Die Eiweißstoffe sind stickstoff- und schwefel-, zum Teil auch phosphorhaltige, nicht flüchtige, indifferente Verbindungen, deren chemische Konstitution aber sehr kompliziert und noch ungenau bekannt ist. Um sie als solche mikroskopisch in der Pflanze zu erkennen, giebt es folgende Reaktionen: Jodlösung färbt dieselben intensiv gelbbraun, Kochen mit Salpetersäure gelb; in verdünnten Farbstofflösungen nehmen die Eiweißstoffe eine tiefe Färbung an, weil sie, allerdings erst nachdem das Protoplasma getötet ist, begierig Farbstoffe absorbieren; die ziegelrote Färbung, welche Millons Reagens (salpetrigsaure Lösung von Quecksilberniträt, die purpurrote mit Alloxan, die violette mit alkalischer Kupfersulfatlösung hervorbringen, sind nicht allgemein zutreffend, was wohl mit der Verschiedenartigkeit der Albuminate zusammenhängen mag.

Die Chemie unterscheidet folgende Arten von vegetabilischen Eiweißstoffen.

A. Die verdaulichen Eiweißstoffe, welche alle darin übereinstimmen, daß sie im tierischen Organismus verdaut werden, indem sie entweder schon in Wasser löslich oder durch Pepsin auflösbar sind. Durch das letztere werden sie in Peptone verwandelt.

1. Das Pflanzeneiweiß oder Phytoalbumin, in reinem Wasser löslich, durch Chlornatrium nicht fällbar, durch Erhitzen auf 70 bis 75° C. gerinnend (koagulierend), ebenso durch Mineralsäuren, findet sich in allen Pflanzensäften, also wahrscheinlich nicht bloß als Bestandteil des Protoplasmas, sondern auch im Zellsaft.

2. Pflanzliche Globuline, in Wasser unlöslich, aber in verdünnten Lösungen neutraler Alkalisalze löslich, in ihren Lösungen bei 75° C. koagulierend. Man kennt hauptsächlich zwei Arten:

a) Pflanzen-Vitellin, welches in Kochsalzlösung jeder Konzentration löslich ist, und namentlich aus pulverisierten Samen verschiedener Pflanzen durch jenes Lösungsmittel gewonnen worden ist. Es scheinen verschiedene Arten dieser Körper in den einzelnen Pflanzenarten vorzukommen.

b) Pflanzen-Myosin, dem Myosin in den Muskelfasern der Tiere sehr ähnlich, nur in verdünnter (10prozentiger) Kochsalzlösung löslich, in konzentrierter unlöslich, kommt neben dem vorigen in den Samen vor, findet sich aber mit demselben wahrscheinlich in jedem Protoplasma.

Was man bisher Pflanzenkaseïne oder Käsestoffe nannte, ist vielleicht in den frischen Samen nicht enthalten, sondern erst Zerzeugungsprodukt der Globuline durch die bei der Darstellung angewandten Säuren oder Alkalien. Sie sind in Wasser und Alkohol unlöslich, aber durch verdünnte Kalilauge oder Lösungen phosphorsaurer Salze auflösbar und aus der Lösung durch Säuren in fäulen Flocken abscheidbar. Sie enthalten außer Schwefel auch Phosphorsäure und werden deshalb als Phosphorsäure-Verbindungen angesehen. Da sie in sehr großer Menge aus den Samen gewinnbar sind, so müssen sie, beziehentlich die Globuline den Hauptbestandteil der Meuronkörner (S. 109) ausmachen. Es giebt verschiedene Pflanzenkaseïne: das Glutinkaseïn oder Kleberkaseinstoff, der in Alkohol unlösliche Bestandteil des Klebers aus den Weizen- und Roggenkörnern, das Avenin in den Haferkörnern, das Legumin in den Samen der Leguminosen, wo es bis zu 20 und 30 pCt. ausmacht, Conglutin, Vicin, Convicin, neben Legumin in anderen Leguminosen.

3. Die Kleberproteinstoffe. Was man seit langer Zeit als Kleber oder Gluten bezeichnet, ist ein Gemenge verschiedenartiger Proteinstoffe, welche hauptsächlich für die Getreidekörner charakteristisch sind. In Wasser ist der Kleber unlöslich, bildet aber damit eine zähe knetbare Masse. Er enthält zunächst einen in Alkohol unlöslichen Körper, das schon genannte Glutinkaseïn, welches zu den Kaseïnen gehört. Die eigentlichen Kleberstoffe sind in 60- bis 70prozentigem Alkohol und in angesäuertem alkoholischem Wasser löslich. Beim Erkalten der alkoholischen Lösung scheidet sich das Glutinfibrin, Kleberfaserstoff oder Pflanzenfibrin ab; in Lösung bleiben zwei Körper: das Gliadin oder Pflanzenleim, eine in Wasser quellende schleimige, in Alkohol leicht lösliche Substanz, die im Weizenkleber, nicht aber im Gersten- und Roggenkleber vorkommt, und das Mucedin, ebenfalls eine schleimige Substanz, die in Wasser größere Löslichkeit als jene besitzt und von 90prozentigem Alkohol flockig gefällt wird. Ubrigens ist die Natur der Kleberstoffe noch nicht genügend aufgeklärt.

B) Die unverdaulichen Eiweißstoffe. Hierher gehören:

4. die Nucleïne. Diese Körper sind als Bestandteile der Zellkerne (S. 4) von besonderer Wichtigkeit. Sie lassen sich dadurch isolieren, daß man tierische oder pflanzliche Zellen der Verdauung unterwirft oder mit Pepsin be-

handelt, wobei sie ungelöst zurückbleiben. Sie werden durch den Magensaft bei Blutwärme nicht verdaut, sind also zur tierischen Ernährung ungeeignet. Sie sind durch ihren Gehalt an Phosphorsäure bemerkenswert, außerdem giebt es schwefelfreie und schwefelhaltige Nucleinarten. Sie sind unlöslich in Wasser und in verdünnten Mineralsäuren, leicht löslich in Alkalien. Beim Kochen mit Wasser oder verdünnten Säuren liefern sie als Spaltungsprodukte Eiweiß, Phosphorsäure und die Basen Guanin, Xanthin, Hypoxanthin. Nucleine sind vielleicht nicht bloß in den Zellkernen, sondern auch in protoplasmatischen Gebilden, wie in den Chlorophyllkörpern u. und vielleicht auch im Protoplasma selbst vorhanden.

XI. Die Fermente.

Man versteht darunter solche Stoffe, welche die Fähigkeit besitzen, schon wenn sie in geringer Menge vorhanden sind, gewisse andere chemische Verbindungen in einfachere Produkte zu zerlegen, ohne dabei sich selbst zu verändern. Es sind stickstoffhaltige, den Eiweißstoffen nahe verwandte Verbindungen. Wir unterscheiden:

1. Die Diastase, das stärkeumbildende Ferment, welches überall da in der Pflanze vorkommt, wo Stärkemehlkörner zu gewisser Zeit sich auflösen, also vorzüglich in den stärkemehlreichen Samen während der Keimung; auch in den keimenden Kartoffeln, in Rüben, in den Baumknospen ist es nachgewiesen. Auch wenn man die aus der Pflanze dargestellte Diastase mit Stärkekleister zusammenbringt, übt sie ihre Wirkung aus. Das Stärkemehl wird dabei in Zucker und Dextrin unter Wasseraufnahme gespalten, außerdem entsteht auch Maltose und durch Spaltung derselben Traubenzucker. Die Wirkung ist sehr von der Temperatur abhängig; die Zahlen, welche die Größe der Wirkung bezeichnen, sind bei 0° 7, bei 10° 20, bei 20° 38, bei 30° 60 und bei 40° 98. Auch Anwesenheit von Kohlensäure, sowie höherer Druck wirken beschleunigend. Dagegen wird durch Vorhandensein von Zucker, wenigstens bei höherer Konzentration, die Wirkung etwas schwächer.

2. Das Invertin, dasjenige Ferment, welches den Rohrzucker in Traubenzucker und Fruchtzucker spaltet, also in gärungsfähige Zuckerarten invertiert. Dieses Ferment wird von vielen Pilzen, besonders von Hefe- und Spaltpilzen abgeschieden.

3. Das Pepsin, welches Eiweißstoffe in lösliche Verbindungen, sogenannte Peptone, umwandelt und im tierischen Körper bekanntlich die wichtigste Rolle bei der Verdauung der Eiweißstoffe spielt. Auch in einigen Pflanzensaften ist es nachgewiesen, besonders in den Sekreten der insektenfressenden Pflanzen (S. 82), wo dadurch die Weichteile der gefangenen Insekten verdaut werden. Auch der Milchsafte von *Picus carica* hat mehrere fermentative Eigenschaften, welche bei Milch-

säften anderer Pflanzen vernichtet werden; er bringt Milch zum Koagulieren, wirkt auf Stärke diastatisch und peptonisiert Eiweißstoffe, z. B. Fleischfaser.

3. Das Emulsin in den Mandeln, welches Amygdalin und andere Glykoside (S. 101) zu spalten vermag in Zucker und ätherische Öle.

4. Das Myrosin in den Senfsamen, durch welches das Glykosid Myrosin säure (S. 101) in Zucker und Senföl gespalten wird.

XII. Die Amide.

Dies sind stickstoffhaltige, lösliche und kristallisierende Verbindungen, die chemisch als Derivate von Säuren, in welche die Amidgruppe NH_2 eingetreten ist, zu betrachten sind. Sie finden sich allgemein verbreitet in den Pflanzensäften und bedingen mit den Eiweißstoffen zusammen wesentlich den Stickstoffgehalt der Pflanzenteile. Man unterscheidet folgende Amide..

1. Asparagin, ($\text{C}_4 \text{H}_8 \text{N}_2 \text{O}_3$), das Amid der Asparaginsäure, jedenfalls das verbreitetste Amid im Pflanzenreiche, besonders reichlich in Spargeltrieben, Lupinenkeimpflanzen und vielen anderen Gewächsen.

2. Leucin, als ein Produkt der Spaltung tierischer Eiweißkörper bekannt, findet sich neben Asparagin z. B. in Wickenkeimlingen und Kartoffelknollen.

3. Tyrosin, ist in Begleitung des Leucins in verschiedenen Pflanzen gefunden worden.

4. Glutamin, in Rüben, Kürbispflanzen u. in größerer Menge als das gleichzeitig auftretende Asparagin.

5. Betaïn, ebenfalls in den Rüben, gegenüber dem Asparagin vorwaltend.

6. Allantoin, der in der Allantoisflüssigkeit und im Harn der Kinder auftretende Stoff, findet sich neben Asparagin in jungen Sprossen und jungen Blättern verschiedener Holzpflanzen, wie *Betula*, *Aesculus*, *Platanus*.

7. Hypoxanthin, Xanthin, Guanin sind in jungen Kartoffelknollen, Zuckerrüben, Lupinen- und Kürbiskeimlingen u. nachgewiesen worden.

XIII. Die Farbstoffe.

Darunter versteht man im weitesten Sinne alle farbigen Substanzen der Pflanze, deren chemische Natur aber sehr mannigfaltig, jedoch ungenau bekannt ist. Die wichtigsten sind:

1. Das Chlorophyll oder Blattgrün, welches die den Pflanzen eigene grüne Farbe bedingt und wie wir oben gesehen haben, bei der Assimilation der Kohlensäure eine unentbehrliche Rolle spielt. Dieser Farbstoff ist überall an das Protoplasma der Zellen gebunden, meist an besonders geformte protoplasmatische

Träger, die bei den meisten Pflanzen als Chlorophyllkörner auftreten. Er kann aus den Chlorophyllkörpern extrahiert werden durch Alkohol oder ähnliche Lösungsmittel. Die alkoholische Lösung zeigt dieselbe grüne Farbe wie der Pflanzenteil, aus welchem sie gewonnen wurde, und welcher dann farblos erscheint. Das reine Chlorophyll ist chemisch noch ungenügend bekannt, doch ist es eine aus C, H, O und N bestehende organische Verbindung. Das Chlorophyll ist der am weitesten im Pflanzenreiche verbreitete Farbstoff; er fehlt nur den Pilzen und einigen nicht grünen Phanerogamen (S. 79).

2. Das Xanthophyll oder Chlorophyllgelb, ein allgemeiner Begleitfarbstoff des Chlorophylls, bei der natürlichen Zerstörung des Chlorophylls zurückbleibend in Form öartiger gelber Tröpfchen in der Zelle und daher die gelbe Farbe des reifen Strohes und die Herbstfärbung des Baumlaubes bedingend. Wenn man eine alkoholige Chlorophylllösung mit Benzol schüttelt, so nimmt letzteres den reinen Chlorophyllfarbstoff auf, während das Xanthophyll im Alkohol zurückbleibt. — Andere das Chlorophyll begleitende Farbstoffe kommen bei gewissen Algen vor, welche dadurch ihre eigenartige Färbung erhalten.

3. Das Anthoranthin, der rote Farbstoff der meisten hochroten saftigen Früchte, wie Solanum Lycopersicum und Dulcamara, Capsicum, Physalis, Lycium, der Erdbeeren, Hagebutten &c. Er ist ebenfalls an protoplasmatische Farbstoffkörper gebunden.

4. Das Blumengelb, Xanthin. Dieser Farbstoff der gelben Blumenblätter, wie z. B. der gelben Lupinen, der Sonnenblumen und vieler anderer Kompositen, der Cruciferen &c., ist ein fettartiger Körper, der ebenfalls an sehr kleine meist körnerförmige Farbstoffkörper gebunden ist.

5. Das Anthocyan, nächst dem Chlorophyll der verbreitetste vegetabilische Farbstoff. Er kommt in rotem, violetter bis blauem Ton vor und ist stets im Zellsaft aufgelöst; man kann daher aus allen solchen Pflanzenteilen einen roten Saft auspressen oder mittels Wasser extrahieren. Wir treffen ihn in den verschiedensten Organen der Pflanzen, und zwar: a) in vielen Früchten, wie Kirichen, Pflaumen, Weinbeeren, Heidelbeeren &c.; b) in vielen Blüten, wo die verschiedenen Farbentöne von Rot, Violett und Blau durch ihn veranlaßt sind. Der Wechsel in diesen Farben wird durch die verschiedene, bald mehr neutrale, bald mehr saure oder alkalische Reaktion des Saftes der Zellen hervorgebracht, in welchem das Anthocyan aufgelöst ist. c) in vegetativen Organen, besonders in grünen Teilen, die entweder im Jugendzustande oder während der Herbstzeit vorübergehend sich röten, oder die bei gewissen Varietäten während des ganzen Lebens rot aussehen, wie die rotblättrigen Varietäten vieler Gehölze, die Varietäten des Mohls, der Rüben &c. mit roten Blättern und roten Wurzeln.

2. Kapitel.

Die Bedeutung und die Entstehung der Pflanzenstoffe in der Pflanze.

In der vorangehenden Übersicht sind die Pflanzenstoffe nur nach ihrem chemischen Charakter klassifiziert. In der Physiologie handelt es sich aber auch um die Frage, wie die Stoffe in der Pflanze entstehen und welche Rolle sie im Leben der Pflanze spielen. Wir können nun die Pflanzenstoffe nach ihrer physiologischen Bedeutung in folgende Klassen bringen:

I. Die Baustoffe.

Wir rechnen hierzu diejenigen Stoffe, welche zur Herstellung einer jeden Zelle notwendig gehören, also das eigentliche Baumaterial des Pflanzenkörpers darstellen. Es handelt sich also um die Stoffe, aus welchen das Protoplasma und die Zellhäute bestehen.

1. Als allgemeiner Baustoff für das Protoplasma der Zelle dienen die Eiweißstoffe, und zwar sowohl solche, welche zu den verdaulichen gehören (S. 98), als auch die unverdaulichen, phosphorhaltigen Nucleine, weil die letzteren besonders zur Bildung der Zellkerne erforderlich sind. Alle diese Eiweißstoffe werden immer erst in derjenigen Zelle selbst erzeugt, für deren Protoplasma sie gebraucht werden; dies geschieht also hauptsächlich in den wachsenden Stengel- und Wurzelspitzen und in den sich entwickelnden Früchten und Samen. Die Zellen sind im jüngsten Zustande, also so wie wir sie in der Form der Meristemzellen in den Vegetationspunkten finden, ganz und gar mit Protoplasma erfüllt, erzeugen also in dieser Zeit nichts weiter als solches; mit dem Größerwerden der Zelle scheint sich ihr Protoplasmagehalt nicht wesentlich zu vermehren, vielmehr bildet sich ein großer Sastraum in der Zelle und das Protoplasma ist auf eine dünne wandständige Schicht zurückgedrängt (S. 2). Nach den genannten Bildungsherden gelangt der zur Eiweißbildung nötige Stoff in Form von Verbindungen, welche von Zelle zu Zelle diosmierbar also löslich sein müssen. Es bedarf dazu sowohl einer Kohlenstoff- als auch einer Stickstoffverbindung. Als Kohlenstoffverbindung wird dazu wohl meist Traubenzucker benutzt, da dieser hauptsächlich nach den Bildungsstätten geführt wird, wo er, wie wir unten sehen werden, ohnedies zur Erzeugung der Zellhäute gebraucht wird. Die zur Bildung der Eiweißstoffe nach den Bildungsherden geleitete Stickstoffverbindung kann entweder schon das noch unveränderte als Nahrung aufgenommene Nitrat sein, welches bei manchen Pflanzen, wie wir oben (S. 69) sahen, als solches bis in die meisten Teile der Pflanze sich verbreitet. Oder aber es ist dies eine organische Ver-

bindung, vorzugsweise eine aus der Klasse der Amide, besonders Asparagin; letzteres namentlich auch dort, wo das Material zur Bildung der Eiweißstoffe aus Reservestoffbehältern (keimenden Samen, Knollen u.) den jungen wachsenden Teilen zugeleitet wird. Näheres darüber ist unten bei den Wanderungstoffen gesagt.

Tiefenigen Eiweißstoffe, welche zum Aufbau des Protoplasmas der Zellen der vegetativen Organe dienen, verbleiben hier meist bis zum Tode. Indessen geben doch manche dieser Zellen ihren Protoplasmagehalt ganz oder teilweise vor dem Tode ab, um ihn anderen Pflanzenteilen nutzbar zu machen. So verschwinden z. B. aus den Zellen solcher Stengelmarkte, die später einschrumpfen oder im Alter aus lufthaltigen Zellen bestehen, Protoplasma und Zellkern völlig. Auch wenn die Blätter der Bäume vor dem Abfallen im Herbst und die grünen Teile der Kräuter, des Getreides u. mit Eintritt der Samenreife gelb werden, bemerken wir, daß der größte Teil des Protoplasmas nebst den Chlorophyllkörnern in den chlorophyllhaltigen Zellen verschwinden und in die Pflanze zurückkehren, beziehentlich mit zur Ausbildung der Samen disponibel gemacht werden.

2. Als Baustoff für die Zellhäute dient allgemein die Cellulose (S. 11). Sie gehört zu den Kohlenhydraten, ist in Wasser unlöslich, aber für Wasser durchdringbar, also durch diese Eigenschaften vorzüglich als Material für die Zellhäute geeignet. Erzeugt wird die Cellulose immer erst in derjenigen Zelle selbst, wo sie gebraucht wird. Sie wird also hauptsächlich in allen wachsenden Pflanzenteilen erzeugt. Den nötigen Stoff zur Bildung der Cellulose muß die Zelle immer erhalten durch Zufuhr von Kohlenhydraten in löslicher Form, also besonders von Traubenzucker, welcher wie sich nachweisen läßt, nach den Orten der Bildungsthätigkeit hin wandert (S. 121) und zugeleitet wird von den assimilierenden Blättern aus, oder von Pflanzenteilen aus, wo Reservestoffe für diesen Zweck aufgespeichert liegen. Die in den Reservestoffbehältern (S. 107) aufgespeicherten stickstofffreien Verbindungen, wie Stärkemehl, Rohrzucker, Inulin, fettes Öl, liefern das Material für diejenige Cellulose, welche zum Aufbau der Zellen gebraucht wird, aus denen die Triebe und Wurzeln bestehen, die jenen reservestoffhaltigen Organen entsprossen. Denn wenn man Samen oder Wurzelstöcke, Knollen oder Zwiebeln im Dunkeln ohne äußere Nahrungszufuhr auskeimen läßt, so bilden sich eine Menge neuer Organe, während gleichzeitig die in Reservestoffbehältern aufgespeicherten eben genannten Stoffe verschwinden; die letzteren müssen also das Material für die Masse der neugeschaffenen Zellmembranen geliefert haben, da Assimilation von Kohlensäure zu organischen Verbindungen hierbei ausgeschlossen ist.

Die Umwandlung der cellulosebildenden Substanz in Cellulose beruht auf einer Lebensthätigkeit des Protoplasmas. Darauf deutet wenigstens alles das hin, was wir mikroskopisch von der Entstehung der Zellhaut erkennen können. Bei der Zellteilung sehen wir nämlich zwischen den beiden sich sondernden Protoplasmakörpern die Zellplatte, die aus sehr kleinen sichtbaren Körnchen sich aufbaut,

als Anfang der Zellscheidewand auftreten (S. 5). Ob aber diese Körnchen bereits aus Cellulose bestehen, ist nicht festgestellt. Auch wenn nackte Zellen sich mit einer Zellmembran umhüllen, wird der Stoff dazu aus dem Protoplasma ausgeschieden. Man hat daher die Vermutung gehegt, daß die Cellulose als ein Spaltungsprodukt von Eiweißkörpern entstehe. Wenn nun eine Zelle, die bereits eine vollständige Zellmembran besitzt, noch weiter wächst, so wird noch mehr Cellulose gebildet, damit die Membran in die Fläche wachsen kann, aber bei dieser Bildung scheint das Protoplasma nicht so unmittelbar beteiligt, denn es muß angenommen werden, daß in der Membran selbst durch Intussusception (s. unten) neue Cellulosemoleküle zwischen den vorhandenen auftreten, gleichsam auskristallisieren aus einer in die Membran eingedrungenen Lösung des zellhautbildenden Stoffes. Kurz vor oder während der Zeit des stärksten Flächenwachstum der Membran der sich streckenden Zellen erscheinen gewöhnlich keine Stärkekörnchen im Protoplasma der Zelle, sie sind aber in der erwachsenen Zelle wieder verschwunden (transitorische Stärke, Fig. 2, S. 3) und stellen also wahrscheinlich einen Teil des nachher als Cellulose erscheinenden Materials dar. Viel Cellulose wird auch erzeugt, wenn Zellen ihre Membran stark verdicken, wie besonders die zur Festigung des Pflanzenkörpers beitragenden Bastfasern. Auch diesen Vorgang sehen wir nur in solchen Zellen eintreten, welche noch Protoplasma im Innern enthalten, wiewohl auch hier die Bildung der neuen Cellulose meist wiederum in der Zellmembran selbst durch Intussusception erfolgt. Auch hier erscheint oft das zellhautbildende Material kurz vorher in Form von zahlreichen Stärkekörnern im Innern der betreffenden Zelle oder in unmittelbar benachbarten Zellen (Stärkescheide S. 116). Aber selbst in diesen Fällen des Wachstums der Membran durch Intussusception hat man neuerdings an der Vorstellung einer direkten Umwandlung von Protoplasmateilchen in Zellhautmoleküle festgehalten, weil man in der Zellmembran allgemein die Anwesenheit von Eiweißstoffen nachweisen zu können geglaubt hat, was indessen noch als unentschieden gelten muß. Die Ausbildung der Zellhäute, besonders die Verdickung der zur Festigung des Pflanzenkörpers hauptsächlich beitragenden Bastfasern wird durch Einwirkung des Lichtes begünstigt, durch Dunkelheit oder Schatten geschwächt; daher die Schlaffheit der unter ungünstigen Beleuchtungsverhältnissen gewachsenen Stengel. So erklärt sich auch das Lagern des Getreides aus einer durch Lichtmangel der unteren Halmpartien bei sehr dichtem Stande verursachten Schwäche derselben.

Die einmal gebildete Cellulose wird mit wenigen Ausnahmen nicht wieder aufgelöst und anderweit verwendet. Denn die Membranen der Zellen bleiben unverändert bis zum Tode des Pflanzenteiles. Die Auflösung der Querscheidewände bei der Entstehung der Gefäße (S. 31) und die Auflösungen von Zellmembranen, die bei den lytischen Sekretionen (S. 131) stattfinden, gehören zu jenen Ausnahmen. Von der Wiederauflösung der Reservecellulose wird bei den Reservestoffen die Rede sein.

Es giebt Zellgewebe, deren Membranen zwar anfangs aus reiner Cellulose bestehen, später aber noch eine andere organische Verbindung enthalten, welche man durch geeignete Behandlung z. B. mit Salpetersäure und chlorsaurem Kali aus den Membranen entfernen kann und dann die reine Cellulose zurückbehält. Es handelt sich hier besonders um zwei Fälle: 1. die Verholzung der Zellmembran, die bei allen holzigen Geweben, also namentlich im eigentlichen Holze der Bäume, aber auch in harten Frucht- und Samenschalen zu finden ist. Verholzte Zellen sind immer ziemlich dickwandig, und es sind dann immer die Verdickungsschichten der Membran, welche diese chemische Veränderung erlitten haben. Die sogenannte primäre Membran, welche die äußerste, den benachbarten Zellen gemeinsame sehr dünne Lamelle darstellt, aus der anfangs die noch unverdickte Zellmembran allein bestand, hat bei den Holzgeweben gewöhnlich die Eigenschaften der Cuticularsubstanz (s. unten). Auch ist sehr häufig die innerste, das Lumen der Zelle auskleidende Schicht der Holzzellmembran nicht verholzt, sondern aus reiner, durch Chlorzinkjod sich bläuernden Cellulose gebildet; man nennt diese innerste Schicht die tertiäre Membran und bezeichnet die übrigen allein verholzten Schichten als sekundäre Membran. Die Verholzung erkennen wir an folgenden Reaktionen. Konzentrierte Schwefelsäure löst auch diese Membranen auf; aber die Jodlösungen bringen nur eine gelbe Farbe hervor; mit Phloroglucin und Salzsäure färben sich verholzte Membranen lebhaft rot, während die aus reiner Cellulose bestehenden ungefärbt bleiben; auch haben verholzte Gewebe die Eigenschaft aus Karbstofflösungen, wie Fuchsin, Karmin u. den Farbstoff in sich aufzuspeichern. Die chemische Verbindung, welche in den verholzten Membranen neben der Cellulose vorhanden ist, kennt man nicht genauer, jedenfalls besteht sie aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff, ist aber weit kohlenstoffreicher als Cellulose; im Holze der Bäume hat man sie als Holzstoff, Lignin oder Xylogen bezeichnet: die in den holzigen Fruchtschalen vorkommende scheint davon verschieden zu sein. Mit dem Namen Holzgummi hat man eine durch Natronlauge aus dem Holze ausziehbare Substanz belegt; er ist nicht recht bezeichnend, denn es hat sich herausgestellt, daß dieser Stoff mit Cellulose gleiche Zusammensetzung und Reaktion hat, doch liefert er bei der Inversion keine Dextrose, sondern einen linksdrehenden Zucker. 2. Die Verförmung und Cuticularisierung der Zellmembran. Die erstere finden wir bei den Zellen des Korkes, dieses wichtigen, die Verdunstung verlangsamenen Hautgewebes (S. 25), die letztere bei der in gleicher physiologischer Weise funktionierenden Cuticula der Außenmembran die Epidermiszellen (S. 23). In beiden Fällen liegt eine sehr ähnliche chemische Veränderung der Membran vor, denn Korkzellhäute und Cuticula zeigen übereinstimmend folgende Reaktionen: in konzentrierter Schwefelsäure bleiben sie ungelöst, kochende Kalilauge löst sie auf, Jodlösungen bringen keine Blaufärbung hervor. Der für den Kork charakteristische Korkstoff oder das Suberin, sowie das in der Cuticula enthaltene Cutin oder die Cuticular-

substanzen sind nahe verwandte kohlenstoffreiche Verbindungen, welche zu den fettartigen Körpern gehören, denn beide lassen sich durch kochende Alkalien verseifen, indem sie in eigentümliche Fettsäuren übergehen. In den verkorkten und cuticularisierten Membranen lassen sich außerdem Cellulose sowie noch mehrere andere Stoffe nachweisen, besonders Fette und Wachs, die durch Chloroform oder Alkohol und Äther extrahiert werden, in geringer Menge auch Farbstoffe.

Von der gewöhnlichen Cellulose abweichend verhalten sich die Zellmembranen der Pilze, denn sie geben meistens mit den genannten Jodpräparaten keine Blaufärbung und sind gegen konzentrierte Schwefelsäure resistenter; man hat deshalb hier eine besondere Modifikation, Pilzcellulose, angenommen. Aber auch die Wurzelepidermis und Wurzelhaare vieler höherer Pflanzen zeigen dieses Verhalten. Man kann jedoch nach sehr langer Behandlung mit Kalilauge oft die vorher ausbleibende Jodreaktion erzielen.

II. Die Reservestoffe.

Da die Erwerbung der Nährstoffe naturgemäß nur langsam erfolgen kann, so trägt die Pflanze dafür Sorge, daß für den zu gewissen Zeiten auftretenden großen Bedarf an assimiliertem Nahrungsmaterial vorher ein genügender Vorrat davon angesammelt wird. Es handelt sich hier um organische Verbindungen, teils stickstofffreie, teils stickstoffhaltige, welche während der Vegetationszeit in den Zellen gewisser Organe erzeugt und daselbst in großer Menge aufgespeichert werden, hier jedoch nur während der Vegetationsruhe liegen bleiben, beim Wiedergang der Bildungsthätigkeit wieder verschwinden, indem sie das Material liefern für den Aufbau der dann meist rasch zur Entwicklung kommenden neuen Pflanzenteile. Die Gewebe, in deren Zellen diese Stoffe aufgespeichert werden, nennen wir die Reservestoffbehälter; sie liegen immer in der Nähe derjenigen Bildungsstätten, für deren Bedarf sie das Material zu liefern haben. Es sind dies hauptsächlich folgende.

1. Reservestoffbehälter der Samen.

Die erste Nahrung erhält das junge Keimpflänzchen der Phanerogamen aus Reservestoffen, welche die Mutterpflanze während der Ausbildung des Samens in diesem niedergelegt hat. Wir unterscheiden zwei Arten von Samen je nach dem Orte, wo in ihnen die Reservestoffe abgelagert sind: solche mit einem besonderen Nährgewebe oder Endosperm, und solche ohne Nährgewebe. Das Endosperm (Fig. 28) ist ein gleichförmiges Gewebe parenchymatischer Zellen, welches nicht zum Embryo gehört, sondern neben demselben oder rings um ihn herum liegt und gleich ihm von der Samenschale eingeschlossen wird. Wir finden es bei den Cerealien und den anderen Gramineen, bei den Polygonaceen (Buchweizen), Chenopodiaceen (Zuckerrüben), Caryophyllaceen, Umbelliferen, Papaveraceen

Fig. 28. Das Maiskorn mit den Reservestoffen.

A im ungekeimten, B im keimenden Zustande, der Länge nach durchschnitten. sch die Schale, ME mehliges und HE horniges oder glasiges Endosperm: an der rechten Seite der Keimling, bestehend aus dem Saugorgan oder Schildchen sc, der von dem scheidenförmigen Keimledon erst umhüllten Plumula Pl und dem von der Coleorhiza Col umgebenen Wurzeldchen Rad, welches bei der Keimung aus der Coleorhiza hervorstößt (w.). 5mal vergrößert.

C eine Stelle, wo das Schildchen sc an das Endosperm ME angrenzt. Die Zellen des letzteren sind ganz mit Stärkekörnern erfüllt, die hier locker angehäuft liegen, daher eine mehligte Beschaffenheit hervorbringen. Das Schildchen besteht aus kleineren, reich mit Protoplasma und Nütröpfchen erfüllten Zellen. Seine Funktion, die Stoffe aus dem Endosperm aufzufangen, zeigt sich auch in der eigentümlichen palisadenförmigen Gestalt derjenigen Zellen, mit denen es an das Endosperm angrenzt (Pal.). Stärker vergrößert.

D) äußere Partie des Endosperms. Die an die Schale sehr angrenzende äußere Zellschicht des Endosperms, die sogenannte Kleberschicht (Kl.) enthält keine Stärkekörner, sondern nur mit Ei gemengte Eiweißmassen. Darunter beginnt erst das mit Stärkemehl erfüllte Gewebe, welches an dieser Stelle die Stärkekörnchen innerhalb der Zellen an einander gepreßt und verklebt zeigt, wodurch die glasige Beschaffenheit des Endosperms bedingt wird. Ebenso stark vergrößert.

(Frank u. Tschirch, Wandtafeln IV.)

und vielen anderen Familien. In den Samen ohne Nährgewebe befindet sich nur der Keimling; aber die Keimblätter desselben sind in diesem Falle besonders voluminös und sie stellen die Reservestoffbehälter dar; so z. B. bei den Cruciferen und Papilionaceen. Auch in diesem Falle kommen die Keimblätter meist aus dem Samen zum Vorschein und ergrünen, nachdem sie ihr Reservematerial an den Keim abgegeben haben, worauf sie nun eine Zeit lang wie die folgenden grünen Blätter der Assimilation dienen: nur in einigen Fällen (Erbsen, Wicken, Pferdebohnen) bleiben die reservestoffhaltigen Keimblätter dauernd im Samen verborgen und erscheinen nicht über der Erde. Die Reservestoffe aller Samen lassen sich in stickstoffhaltiges und stickstoffreies Material unterscheiden, beides pfllegt aber in jeder Zelle der Reservestoffbehälter zusammen aufzutreten.

Das stickstoffhaltige Material ist überall in der Form von Eiweißstoffen vorhanden, Amide fehlen oder finden sich nur in sehr geringen Mengen in ruhenden Samen. Es beträgt z. B. der Gehalt an Eiweißstoffen in Lupinensamen 38,1, in Wicken Samen 26,4, in Erbsensamen 22,6, in Weizenkörnern 13,0, in Roggenkörnern 11,0, in Haferkörnern 10,4, in Maiskörnern 10,1, in Gerstenkörnern 10,0. Die Eiweißstoffe sind nicht bloß als ein gewöhnliches Protoplasma in den betreffenden Zellen zu finden, sondern fast ausnahmslos auch noch in Form massenreicher Körner aufgespeichert, der sogenannten Aleuronkörner (Fig. 29 u. 30), von denen in jeder Zelle eins oder mehrere sehr große oder eine größere Anzahl kleiner enthalten sind; bisweilen haben sie kristallähnliche Form (sogenannte Kristalloide). Diese Körper bestehen hauptsächlich aus Caseinen, bergen aber oft noch gewisse Einschlüsse, die wir ebenfalls als aufgespeichertes Material zu betrachten haben; dies sind teils Kristalle von Kalkoxalat, teils sogenannte Globoide, sphärische Gebilde, die aus einer organischen Substanz und aus Magnesiumphosphat bestehen (Fig. 30). Bei den Cerealien ist die unter der Schale liegende äußerste Schicht des Endosperms von besonderer Beschaffenheit: ihre Zellen enthalten nicht wie das übrige Endosperm Stärkemehl, sondern sind ausschließlich mit einer dichten Masse von Eiweißstoffen erfüllt, in welcher sehr kleine Stropfschen suspendiert sind (Fig. 28 D Kl.); man hat diese Schicht als Kleberschicht bezeichnet, jedoch unzutreffend, denn derjenige Teil der Reserve-Eiweißstoffe, den die Getreidekörner als Kleber enthalten, sitzt nicht in jener Schicht, sondern findet sich zusammen mit Stärkemehl in den übrigen Zellen des Endosperms.

Das stickstofffreie Reservematerial der Samen tritt je nach Pflanzenfamilien in folgenden verschiedenen chemischen Verbindungen auf:

Fig. 29. Der Leinsamen mit den Reservestoffen.

A der ganze Samen im Durchschnitt, zeigt unter der Samenschale *t* zunächst eine dünne Schicht Endosperm *e*, welche den Keimling umgiebt, von welchem hier die beiden großen Keimblätter *c* durchschnitten zu sehen sind. Ca. 30fach vergrößert.

B Stüt eines Durchschnittes durch die Samenschale bis ins Endosperm. Erstere reicht von *c* bis *pi* und läßt mehrere Schichten unterscheiden: *pi* die Pigmentschicht, welche einen die Farbe des Samens bedingenden Farbstoff enthält; *n* eine Schicht zusammengefallener Zellen, welche während der Keimung die zur Ausbildung der Schale nötigen Stoffe enthält; *s* die Hartschicht, aus sehr dickwandigen Zellen zusammengesetzt; *q* die von der Cuticula *c* überzogene großzellige Epidermis, welche den Schleim des Leinsamens enthält, der als Verdickungen der Zellmembran auftritt und hier wegen Quellung nicht mehr sichtbar ist. Das übrige Gewebe ist das Endosperm. In diesem sowie in den aus ganz eben solchen Zellen bestehenden Keimblättern liegen die Reservestoffe. In jeder Zelle ist zu unterscheiden das Protoplasma *p*, in welchem auch das fette Öl in feiner Verteilung enthalten ist, außerdem die verschieden großen Aleuronkörner *a*, von denen die größten noch einen Einschuß, ein Globoid, zeigen. Stark vergrößert.

1. als Stärkemehl und zwar im Endosperm bei den Familien der Gramineen, Cyperaceen, Polygonaceen, Chenopodiaceen, Caryophyllaceen, in den Rotyledonen bei den Papilionaceen (nur die Lupinen und einige andere haben kein Stärkemehl in den Samen); die Zellen der Reservestoffbehälter sind hier mit Stärkemehlkörnern reich erfüllt. Es finden sich in den Samen der Erbsen 58, der Bohnen 45, des Hafers 47, der Gerste 58, des Roggens 60, des Weizens und der Hirse 64, des Mais 65, des Reis sogar 76 pCt. Stärke.

Fig. 30. Aleuronkörner.

Zelle aus dem Nährgewebe des Samens von Ricinus; 1. in Öl liegend, worin die Aleuronkörner unlöslich sind; 2. in Jodkaliumjodlösung, wo die Aleuronkörner gefärbt sind, aber von ihren Einschlüssen nur das Kristalloid (k) besonders stark gefärbt, die Globoide (g) ungefärbt, aber stark glänzend zeigen.

(Frank u. Tschirch, Wandtafeln LVI.)

2. Als fettes Öl ist es in größeren oder geringeren Mengen fast bei allen stärkemehllosen Samen und jedenfalls bei der größten Mehrzahl der Pflanzen vorhanden; dasselbe ist hier im Protoplasma der betreffenden Zellen fein verteilt; in sehr großer Menge ist es in den Samen der Ölpflanzen, wie Cruciferen, Papaveraceen, Kompositen, Lein, Hanf, Ricinus u. enthalten. Es enthalten z. B. Hanfsamen 30, Leinsamen 35, Mohnsamen 45, Rapsamen 50, Walnüsse sogar 55 pCt. Öl.

3. Als Reserverecellulose beziehentlich Amyloid, indem hier die Zellen des Endosperms oder der Kotyledonen stark verdichtete Membranen besitzen und diese Membransubstanz bei der Keimung größtenteils aufgelöst wird, wie bei der Dattel und anderen Palmen, bei Liliaceen, Irideen, bei Tropaeolum, Impatiens, Paeonia, bei den Primulaceen &c. Diese wiederauflösbare Cellulose scheint auch chemisch von dem gewöhnlichen Zellstoff verschieden zu sein. In einigen der genannten Samen ist dies unzweifelhaft der Fall; hier stellt die Reserverecellulose die als Amyloid bezeichnete Modifikation dar. Dieser Name soll an das Stärkemehl erinnern, welchem diese Cellulose insofern ähnlich ist, als sie schon mit bloßem Tod sich blau färbt und in heißem Wasser aufquillt.

Alle die genannten Stoffe wandern während der Keimung der Samen nach und nach in dieselben ein und werden hier aufgespeichert; der reife Samen ist davon am reichsten. Die stickstoffhaltigen werden in Form von Amiden, die stickstofffreien in Form von Traubenzucker nach den Samen geleitet und hier in die jeweils verschiedenen genannten Verbindungen umgesetzt. Die Bedeutung der letzteren als Nahrungsstoffe für die junge Keimpflanze zeigt sich auf das Deutlichste darin, daß sie während der Keimung allmählich wieder aus den Reservestoffbehältern verschwinden in dem Maße, als die junge Keimpflanze sich entwickelt. Diese Behälter sind daher endlich in ihren Zellen so gut wie ausgeleert und schrumpfen deshalb dann ganz ein. Schneidet man einem Samen vor vollendeter Keimung das Endosperm, beziehentlich die Kotyledonen weg, so liefert er bei der Keimung nur kümmerliche, schlecht ernährte Pflänzchen oder schlägt ganz fehl.

2. Reservestoffe der überwinternden Organe der perennierenden Pflanzen.

Die in der Winterruhe verharrenden Wurzeln, Rüben, unterirdischen Stöcke, Knollen und Zwiebeln der Stauden, sowie die Knospen und Zweige der Holzpflanzen enthalten einen Vorrat von Nährmaterial, welches dazu bestimmt ist, die im Frühlinge aus diesen Organen hervorstwachsenden neuen Triebe aufzubauen. Die verhältnismäßig sehr rasch erfolgende Entwicklung der letzteren im Frühlinge, erfordert die Vereithaltung dieser Reservestoffe. Die genannten unterirdischen Organe der Stauden sind voluminöse Teile, in denen das Grundgewebe reichlich entwickelt ist und seine Zellen mit den betreffenden Reservestoffen angefüllt zeigt. Bei den Holzpflanzen ist das Mark- und Rindengewebe der Knospen und Zweige der Träger der winterlichen Reservestoffe.

Das stickstoffhaltige Material tritt auch hier als gewöhnliches Protoplasma in allen diesen Zellen auf, in einzelnen Fällen auch in Form von Kristalloiden, wie man sie z. B. bei manchen Kartoffelsorten in gewissen Zellen unter der Schale der Knollen findet. Gleichzeitig kommen hier aber auch Amide als stickstoffhaltige Reservestoffe vor, z. B. in Kartoffeln, Rüben, Topinambur &c.

Das stickstofffreie Material ist auch hier je nach Pflanzenarten ungleich. Als solches tritt auf 1) Stärkemehl. Den wichtigsten hierhergehörigen

Fall zeigt uns die Kartoffel (Fig. 31). Ferner kommt Stärkemehl als Reservestoff vor in den überwinterten Wurzeln des Alee, der Luzerne und anderer Papilionaceen, in unterirdischen Stöcken vieler Monokotylen, wie Iris, Marantha, Arum &c., in den Wurzelknollen der Orchideen &c. In allen diesen Fällen erscheinen die Zellen des Grundgewebes mit zahlreichen großen Stärkemehlkörnern förmlich voll-

Fig. 31. Der Kartoffelknollen.

A junge aus Samen erwachsene Kartoffelpflanze, welche an den unterirdischen Zweigen des Stengels die Knollen zu bilden beginnt.

B zeigt die Bildung der Knollen als Anschwellung eines Stückes der Zweige des Stengels bei k k k. Diese Zweige treiben außerdem auch Nebenwurzeln. In der darunter stehenden Figur ist die knollig anschwellende Spitze des Zweiges im Längsschnitt dargestellt, wobei es sich zeigt, daß das Mark m des Stengels durch seine Vergrößerung zur Knollenbildung führt; r Rinde, f Fibrovasalstrang; a a die kleinen schuppenförmigen Blattgebilde des Sprosses, in deren Achseln sich später die Augen, d. h. die Knospen des Knollens entwickeln.

C Ein Stück Querschnitt des fertigen Knollens, besteht ganz aus stärkemehlführenden Zellen; k k die aus Markzellen bestehende Schale des Knollens; f f die kleinen Fibrovasalstränge. Schwach vergrößert.

D Keimender Knollen im Durchschnitt. f f der Lauf der Gefäßbündel zwischen Mark und Rinde; a a a die zum Teil im Austreiben begriffenen Augen; s t die Anlagestelle des Stengels des Knollens.

(Frank u. Tschirch, Wandtafeln V.)

gepropt. Auch bei den Holzpflanzen lagert sich im Herbst in den Zellen der Rinde der Zweige und der Knospen Stärkemehl ab, das sich aber vor Beginn des Winters meist ganz oder teilweise in Fett verwandelt, um erst im Frühling vor dem Knospenaustrieb wieder zu erscheinen. Die Rinde enthält daher im Winter bei manchen Bäumen als stickstoffreies Reservematerial nur Fett, bei anderen halb Fett, halb Stärke. In der Wurzelrinde der Bäume nimmt die Stärke im Winter in viel geringerem Maße ab. Auch bei einigen Kräutern tritt fettes Öl als Reservestoff auf; so in den Knollen von *Cyperus esculentus*.

Fig. 32. Wachstum der Stärkekörner.

Zellen der Kartoffelknollen in verschiedenem Alter mit den darin enthaltenen Stärkemehlkörnern, bei gleicher Vergrößerung: A aus einem Knollen von 0,5 cm, B aus einem solchen von 2 cm Durchmesser, C aus einem erwachsenen Knollen. In A sind die Stärkemehlkörner höchstens 13,5 Mikromillimeter $(= \frac{1}{1000} \text{ mm})$, in B 35, in C 54 Mikromillimeter lang. In den größeren Stärkekörnern ist die concentrische Schichtung deutlich erkennbar, welche mit dem Wachsen durch innere Differenzierung zunimmt. Bei n der Zellkern.

(Frank u. Tschirch, Wandtafeln VI.)

und in einigen Jarrenstöcken. 2) Als Rohrzucker tritt der Reservestoff besonders in den rübenartigen Organen gelöst in dem Saft der Zellen auf, wie bei den Zuckerrüben und bei den rübenbildenden Varietäten von *Brassica*, bei Mohrrüben, bei der Zuckerrübe u. 3) Glykose vertritt diese Stelle besonders in den Zwiebeln, auch in den unterirdischen Stöcken mancher Pflanzen. 4) Inulin, ebenfalls im Saft der Zellen gelöst, ist namentlich in den perennierenden Wurzeln und Wurzelknollen der Kompositen (besonders Georginenknollen), Campanulaceen und verwandten Familien zu finden.

Alle die genannten Stoffe werden während der Ausbildung der betreffenden Reservestoffbehälter in den Zellen derselben erzeugt und häufen sich hier immer mehr an; in der Rübe wird der Zuckersaft nach und nach konzentrierter, in jungen Kartoffelknollen entstehen immer mehr Stärkekörner und die vorhandenen werden durch Wachstum immer größer, bis die Kartoffel reif ist (Fig. 32). Das Material hierzu wird von den grünen Blättern aus dorthin geleitet. Ihren Charakter als Reservestoffe bekunden alle diese Stoffansammlungen dadurch, daß sie beim Wieder-

beginnt der Vegetation aus den genannten Organen in dem Maße verschwinden, als die jungen Triebe aus den letzteren hervordachsen. Wir sehen in den keimenden Kartoffelknollen die Stärkekörner allmählich aus den Zellen verschwinden und können beobachten, wie sie sich dabei nach und nach auflösen, indem sie gleich-

Fig. 33. Auflösung der Stärkekörner im keimenden Kartoffelknollen.

A. Zeigt das Stärkekorn noch wenig angegriffen, nur an der Oberfläche mit beginnender Korrosion; B ein Zustand, wo es durch stärkeres Abschmelzen von außen bereits kleiner geworden ist. C eine Auflösungsform, wo es durch von außen eindringende Gänge wie durchfressen aussieht.

(Frank u. Tschirch, Wandtafeln VI.)

sam von ihrer Oberfläche aus abschmelzen (Fig. 33). Darum liefern auch die größten, also reservestoffreichsten Kartoffelknollen die kräftigsten Pflanzen, und zerschnittene Knollen um so schwächlichere Stauden, je kleiner das am Auge verbliebene Stück Knollen war.

3. Reservestoffe für Gewebebildungen in schon vorhandenen Organen.

Diejenigen Pflanzenteile, welche auch noch im erwachsenen Zustande in ihrem Innern eine Bildungsthätigkeit ausüben müssen, bei welcher neue Gewebe entstehen, sorgen dafür durch vorherige Aufspeicherung des dazu nötigen Materials. Es handelt sich hier namentlich um die nachträglich behufs Festigung der Pflanzenteile sich bildenden Gewebe, nämlich um die Bastfasern und den Holzkörper, in beiden Fällen also um Zellen mit sehr dicken Membranen, zu deren Erzeugung es eben besonders viel membranbildender Stoffe bedarf. Das

zur Membranbildung der Bastfasern erforderliche Material wird allgemein in Form von Stärkemehl aufgespeichert und zwar in der den Bastfasergruppen außen unmittelbar angrenzenden Schicht von Zellen des Grundgewebes. Man nennt diese Schicht die Stärkescheide oder den Stärkering und verlegte in sie früher irrtümlich die Wanderung der Kohlenhydrate. Jener Ausdruck bezieht sich darauf, daß diese Schicht bei den meisten Monokotylen wie eine Scheide jedes Gefäß-

Fig. 34. Die Stärkescheide des Mais-Fibrovascularstranges.

Querschnitt eines Fibrovascularstranges des Maisstengels, A im jugendlichen, B im erwachsenen Zustande, bei gleicher Vergrößerung. Der Fibrovascularstrang ist von großzelligem Markgewebe umgeben.

Im fertigen Zustande B besteht der ganze peripherische Teil des Fibrovascularstranges aus Bastfasern b, deren hier dunkel gebaltene Membranen so stark verdickt sind, daß der Innenraum der Zellen sehr verengt ist. Im jugendlichen Zustande A ist diese Bastscheide noch nicht entwickelt, die peripherischen Zellen des Fibrovascularstranges b alle noch sehr dünnwandig. Das Material für das Längswachstum der Zellmembranen liegt hier aufgespeichert in Form vieler kleiner Stärkekörnchen, mit welchen die im Kreise um den Fibrovascularstrang liegenden Markzellen s erfüllt sind (Stärkescheide); nach Ausbildung der Bastfasern in B ist dieser Stärkevorrat erschöpft.

(Frank u. Tschirch, Wandtafeln XXIV.)

bündel rings umgiebt, eben weil hier das ganze Gefäßbündel in einer Scheide von Bastfasern steckt (Fig. 34); bei vielen Dikotylen läuft die Scheide auswendig um den gesamten Gefäßbündelring herum, wenn derselbe daselbst einen geschlossenen Ring von Bastfasern zu bilden pflegt; aber da, wo die Bastfasern in isolierten Gruppen vor den einzelnen Gefäßbündeln gebildet werden z. B. Fig. 8 u. 9, ist auch die Stärkescheide nur als ein Gewebestreifen einer jeden Bastfasergruppe außen vorgelagert, wie in vielen anderen dikotylen Stengeln und in den meisten

Blattstielen. Schon während des Heranwachsens der Pflanzenteile erfüllen sich die Zellen der Stärkescheiden reichlich mit ziemlich großen Stärkemehlkörnchen. Diesen Vorrat behalten sie längere Zeit, jedenfalls so lange, als die Bastfasern noch nicht fertig gebildet, d. h. noch dünnwandig sind. Die vollständige Verdickung der Membranen der Bastfasern tritt erst in einem gewissen Alter des Stengels ein; der letztere erlangt dadurch größere Härte und Festigkeit. In demselben Maße nun, als die Membranen der Bastfasern sich verdicken, verschwindet das Stärkemehl aus der Stärkescheide, und sobald die Bastfasern vollständig fertig sind, ist auch nichts mehr von Stärkemehl in jenen Zellen enthalten (Fig. 34B).

Während es bei der Ausbildung der Bastfasern nur um dasjenige Material sich handelt, welches zur Erzeugung der Membransubstanz schon vorhandener Zellen nötig ist, also um ein Kohlenhydrat, kommt es beim Aufbau des Holzkörpers auf ganz neue Zellbildungen an, die durch die Kambiumschicht vermittelt werden. Es ist selbstverständlich, daß es zur Unterhaltung dieses Zellbildungsprozesses an jedem Punkte des Stengels der krautartigen Pflanzen sowohl als ganz besonders des Holzstammes der Bäume eines Vorrates nicht bloß von Kohlenhydraten, sondern auch von Eiweißstoffen bedarf. Zur Aufspeicherung dieses Materials ist hier überall ein besonderes Gewebe vorhanden, was die Anatomie mit dem Namen Phloëm, Weichast oder Siebteil bezeichnet. Dieses Gewebe besteht aus nicht verholzten, zartwandigen Elementarorganen mit viel protoplasmatischem, also an Eiweißstoffen reichem Inhalt. Die Lage, welche dieses Gewebe ausnahmslos einnimmt, spricht auf das deutlichste für seine Funktion als Vorratskammer derjenigen Stoffe, welche die Kambiumschicht zur Bildung des Holzkörpers gebraucht; denn es ist in allen Fibrovasalsträngen ein treuer Begleiter der Holzbündel, in seiner Stärke mit der Mächtigkeit des zu bildenden Holzbündels zu- und abnehmend, und stets ist es der Kambiumschicht außen unmittelbar vorgelagert; es bildet nämlich eine ringförmige Zone um den Kambiumring, wo diese einen geschlossenen Holzcyylinder umgiebt, wie bei den meisten dikotylen Stengeln und Holzstämmen, es bildet einen isolierten Strang, genau vorgelagert dem Holzbündel mit seinem Kambium, wo es sich um isolierte Fibrovasalstränge, wie namentlich in Blattstielen und Blattrippen handelt. Vermöge dieser Lage bietet es also der Kambiumschicht die Stoffe dar, die dann als das an deren Innenseite entstehende Produkt, das Holzgewebe, wieder zum Vorschein kommen. Im Näheren unterscheiden wir im Phloëm folgende Elementarorgane:

1. Die Siebröhren, d. i. relativ weite, langgestreckte, reihenförmig über einander stehende Zellen, deren Querscheidewände die Form von Siebplatten haben, d. h. ziemlich dick, aber wie ein Sieb durch feine Poren durchlöchert sind (Fig. 35). Doch haben auch die Seitenwände der Siebröhren stellenweise solche Siebporen. Diese Zellen enthalten reichlich einen schleimigen Saft, der vorwiegend aus Eiweißkörpern besteht, häufig aber auch Stärkekörnchen, wohl auch Öltröpfchen, übrigens auch etwas Glykose enthält. Die Poren der Siebplatten sind wirklich offen, und

man kann keine Protoplasmastränge nachweisen, welche durch dieselben hindurch den Inhalt der beiden Nachbarzellen verbinden, doch wird die Hauptmasse des Inhaltes durch die Siebplatte wie durch ein Filter zurückgehalten und häuft sich

oft an derselben an, wenn die Siebröhren durch Abschneiden der Pflanze geöffnet worden sind. Bei den Holzpflanzen werden im Herbst häufig die Poren durch Wucherungen der Siebplatte verschlossen.

2. Die Kambiiformzellen, d. i. schmalere, aber ebenfalls langgestreckte Zellen ohne Siebporen, die einen ähnlichen, minder reichlichen Inhalt führen (Fig. 35, z).

3. Bastparenchymzellen, mehr oder minder weite, aber kurze, reihenweis übereinanderstehende Zellen, mit Querscheidewänden ohne Siebplatten, aber mit Protoplasma und oft mit Stärkekörnchen erfüllt.

So sind also im Pflöem alle die Stoffe vorhanden, welche das Kamium zu seiner zellbildenden Thätigkeit braucht. Bei den Holzpflanzen bedarf es für die hier besonders starke Holzbildung auch besonders reicher Vorratsmittel, namentlich an Kohlenhydraten, und zwar hauptsächlich für den lebhaften Beginn der Bildung des zur Wasseraufleitung bestimmten neuen Holzringes im Frühjahr, wo der Baum noch keine assimilierenden Blätter besitzt, die das hierzu erforderliche Material erzeugen könnten. Zu dem Zwecke werden hier in allen Zweigen, Ästen, im Stamme und in allen Wurzeln winterliche Reservestoffe abgelagert, die der Baum im

Fig. 35. Die Siebröhren des Kürbiss, im Längsschnitt durch das Pflöem gesehen. Es sind 3 Siebröhren sichtbar, bei q mit den Siebplatten; der in ihnen enthaltene Schleim sl und sp ist kontrahiert. Bei si eine Siebplatte auf der Seitenvand; bei x und l Stellen, die später auch Siebporen bilden. z enge Kambiiformzellen.

Nach Sachs.

Spätsommer zu bilden beginnt und die aufgespeichert bleiben bis zum Frühjahr, wo sie mit dem Beginn der Kambialthätigkeit wieder allmählich verschwinden. Es sind dies einerseits die schon beschriebenen Stoffe, welche wir im Pflöem niedergelegt finden, andernteils sind

es reichliche Mengen von Stärkemehl, zu deren Aufspeicherung hier gewisse Gewebeteile des Holzkörpers bestimmt sind. Die Stärkemengen, welche das lebende Holz zur Winterszeit enthält, sind so bedeutende, daß man bei Hungersnot aus

Fig. 36. Tangentialer Längsschnitt durch das Holz von *Ailanthus glandulosa*.

gg Trüpfelgefäße: in ihrer Umgebung liegt das Holzparenchym ppp, kurze parenchymatische Zellen mit verdickten, aber stark getüpfelten Membranen. Bei st ein Markstrahl im Längendurchschnitt, ebenfalls aus getüpfelten Parenchymzellen bestehend, zeigt seinen Anschluß an das Holzparenchym. ll ll die Fibriformzellen, welche als dickwandige, kaum getüpfelte Fasern die Festigung des Holzes bedingen: t die Tracheiden, welche wie die Gefäße getüpfelt sind und mit diesen zusammen der Wasserleitung (S. 34) dienen.

Nach Sachs.

gemahlenem Holz mit Erfolg Stärkemehl zu gewinnen gewußt hat. Zur Aufspeicherung dieser Stärke dienen zweierlei Gewebe, nämlich das Holzparenchym und die Markstrahlen. Das erste stellt Gewebekomplexe von größerem oder

geringerem Umfange dar, welche in verschiedenartiger Verteilung im Holzkörper auftreten und ganz aus parenchymatischen Zellen mit verholzten, mäßig dicken, getüpfelten Membranen bestehen, die im Winter mit Stärkekörnern erfüllt sind (Fig. 36, p). Die Markstrahlen sind Gewebelamellen, welche in radialer Richtung den Holzkörper bis zur Kambiumschicht durchsetzen; wir erkennen sie schon mit unbewaffnetem Auge auf jedem Holzquerschnitte als zahlreiche strahlenförmige Linien. Sie bestehen aus Parenchymzellen, welche in der Richtung des Markstrahles sehr lang gestreckt zu sein pflegen; auch diese Zellen sind während des Winters meist strogend mit Stärkemehl gefüllt. Die Markstrahlen stellen zugleich die Bahnen dar, in denen das zur Verwendung kommende Reservematerial aus dem Holzkörper nach der Kambiumschicht geleitet wird. Dieser Aufgabe entspricht auch die Anordnung der Markstrahlen vollkommen: ein jeder wird nämlich beim Dickenwachstum des Holzkörpers durch die Kambiumschicht ununterbrochen fortgebildet, darum reicht jeder bis an die Kambiumschicht. Mit zunehmender Dicke des Holzkörpers treten immer mehr Markstrahlen zwischen den vorhandenen auf, soweit die größer werdende Peripherie es erheischt; darum giebt es Markstrahlen von der verschiedensten Länge, indem in jedem Jahresringe des Holzes neue beginnen, aber alle laufen nach der Kambiumschicht. Dabei ist es deutlich, daß die Holzparenchymgruppen sich immer an Markstrahlen anlehnen (Fig. 36 st) oder solche von sich ausgehen lassen, wodurch ihre Entleerung nach der Kambiumschicht hin ermöglicht wird. In ähnlicher Weise ist bei den Holzpflanzen auch für die Überleitung der im Phloëm deponierten Stoffe nach der Kambiumschicht durch Markstrahlen Sorge getragen. Wir finden nämlich, daß hier die Markstrahlen des Holzkörpers auch in das Phloëm hinein sich fortsetzen; die großen Markstrahlen gehen, indem sie sich keilförmig erweitern, in die primäre Rinde über, die kleineren erstrecken sich in die Phloëmgruppen hinein. Bei denjenigen Holzpflanzen, wo das Phloëm mit tangential gestellten Platten von Bastfasern, die zur Festigung dienen, abwechselt, tritt die Bedeutung dieser Baststrahlen als Leitungswege für Stoffe aus dem Phloëm nach der Kambiumschicht deutlich hervor, denn sie sind eben die Stellen, wo jene an sich undurchlässigen Bastfaserplatten von einem Gewebe durchbrochen sind, welches diosmotischer Stoffleitungen fähig ist. Die eben besprochenen Reservestoffbehälter im Holze und im Phloëm erfüllen sich regelmäßig in jedem Spätsommer von neuem; es geschieht dies von dem Nitrate, beziehentlich Amide, sowie Zucker transportierenden Rindengewebe und von dem Mark aus oder wo letzteres fehlt, nur von der Rinde aus, wobei wiederum die Markstrahlen die unmittelbaren Einwanderungswege darstellen.

III. Die Wanderungsstoffe.

Bei allen vollkommeneren Pflanzen, deren Körper in verschiedenartige Organe gegliedert ist, muß eine Bewegung assimilierter Stoffe, eine Stoffwanderung stattfinden, weil die Assimilation der Nahrung nur in ganz bestimmten Organen statt-

findet, und weil auch zeitweilig in gewissen Organen Reservestoffe aufgespeichert werden, welche ebenfalls später wieder nach anderen Pflanzenteilen geleitet werden müssen. Um in der Pflanze wandern zu können, muß der betreffende Stoff die Eigenschaft haben, sich in Wasser zu lösen und leicht durch die Zellen zu diffundieren (S. 16); daher nimmt er eine chemische Form von den entsprechenden Eigenschaften an, und in dieser finden wir ihn als Wanderungsstoff in denjenigen Pflanzenteilen, welche hierbei durchwandert werden müssen. Es sind hauptsächlich die Zellen des Grundgewebes, also Rinde und Mark der Stengel, Blattstiele oder Wurzeln, in denen diese Stoffe transportiert werden. Das stickstofffreie Material wandert hauptsächlich in Form von Traubenzucker, das stickstoffhaltige in Form von Amiden, besonders Asparagin, welche Stoffe thatsächlich im Saft der betreffenden Zellen nachweisbar sind. Die Richtung der Stoffwanderung in der Pflanze hängt ganz von der Lage der Verbrauchsstätten ab; sie ist eine abwärtsgehende, indem von den Blättern aus die Assimilationsprodukte dem Stamme, den Wurzeln oder anderen unterirdischen Organen zugeführt werden, sie geht aber auch nach aufwärts, wenn an den Spitzen der Stengel entstehende Früchte damit versorgt werden müssen.

1. Transport der Assimilationsprodukte. Bei allen höheren grünen Pflanzen wandert von den Blättern aus die in den chlorophyllhaltigen Zellen derselben durch Assimilation aus Kohlensäure und Wasser gebildete stickstofffreie organische Substanz nach den Verbrauchsorten hin, nämlich nach den reifenden Früchten, nach den wachsenden Stengelspitzen oder den sich bildenden Knospen, nach der Kambiumschicht des in die Dicke wachsenden Baumstammes, nach den wachsenden Wurzelspitzen, sowie nach den verschiedenen Aufspeicherungsorten der Reservestoffe, also in die unterirdischen Knollen, Wurzelstöcke, Rüben, Zwiebeln u. und in den Holzkörper der Holzgewächse. Wir haben oben bei der Assimilation gesehen, daß diese Substanz in den Chlorophyllkörnern in Form eines Kohlenhydrates, nämlich von Stärkekörnchen auftritt. Von dort aus wandert sie nun in den Blattrippen, Blattstielen und Stengelorganen nach den eben genannten Orten hin und zwar hauptsächlich in Form von Traubenzucker, welcher in den parenchymatischen Zellen, welche in den Rippen die Gefäßbündel umgeben und im Stengel das Mark und die Rinde darstellen, regelmäßig nachweisbar ist. Die frühere Meinung, daß in der sogenannten Stärkescheide der Gefäßbündel (S. 116) die Wanderung der stickstofffreien Stoffe stattfindet, ist widerlegt. Daß die stickstofffreie organische Substanz, welche hauptsächlich das Material für die Bildung der Zellhäute in den wachsenden und neu sich bildenden Pflanzenteilen darstellt, bei den Holzpflanzen von den Blättern aus nach unten geleitet wird, erkennt man auch an den Erfolgen der Ringelungsversuche. Die letzteren bestehen darin, daß an Stämmchen oder Zweigen von Holzpflanzen durch einen ringförmigen Schnitt die Rinde bis zum Holzkörper entfernt wird; über der Ringelwunde bleibt dann die Pflanze samt ihren Blättern frisch, weil die Wasserzufuhr im Holzkörper erfolgt,

also nicht unterbrochen ist. An dem oberen Wundrande bildet aber der Stamm durch erhöhte Kambialthätigkeit eine ungewöhnlich starke wulstförmige Verdickung, weil die von den Blättern aus nach unten wandernden Kohlenhydrate an dieser Stelle sich aufstauen, während der untere Wundrand diese stärkere Ernährung nicht zeigt. Was nun die stickstoffhaltige Substanz anlangt, so glaubte man bis in die neuere Zeit, daß sie ebenfalls von den grünen Assimilationsorganen aus neben der stickstofffreien Pflanzensubstanz in gleicher Richtung, aber in einem anderen besonderen Gewebe, nämlich im Phloem, insbesondere in den Siebröhren (S. 117) geleitet werde. Man hat dafür eigentlich keinen anderen Grund gehabt als die Thatsache, daß dieses Gewebe, welches sich ebenfalls in ununterbrochenen Bahnen durch den Pflanzenkörper, eben mit den Fibrovasalsträngen, von denen es ein Teil ist, hinzieht, immer mit stickstoffhaltigen Stoffen, besonders mit Eiweißstoffen reich versehen ist. Nun wurde aber schon oben ausgeführt, daß diese Eiweißstoffe der Siebröhren vielmehr ein in Ruhe befindliches Reservematerial für die Entwicklung des zugehörigen Holzkörpers sind. Dagegen findet sich die wirklich wanderungsfähige stickstoffhaltige Substanz in anderen zusammenhängenden Zellenzügen und zwar in den nämlichen Parenchymzellen, welche die stickstofffreie Substanz leiten, nämlich in Form von Nitraten oder von Amiden, also von Verbindungen, welche wegen ihrer leichten Löslichkeit und Diffundierbarkeit gerade am meisten und jedenfalls viel besser zur Wanderung geeignet sind als Eiweißstoffe. Die Salpetersäure, aus welcher sich unter Hinzutritt einer organischen stickstofffreien Kohlenstoffverbindung das stickstoffhaltige Assimilationsprodukt bilden muß, braucht nun aber zu diesem Zwecke auch nicht notwendig bis in die Blätter geleitet zu werden, sodaß wir bei den stickstoffhaltigen Assimilationsprodukten auch nicht mit derselben Notwendigkeit, wie bei den stickstofffreien von einer Wanderung aus den Blättern reden können. Wir haben ja oben bei der Assimilation der Salpetersäure (S. 68) gesehen, daß diesem Nährstoff, der von den Wurzeln aus in die Pflanze einwandert, das zur Bildung der stickstoffhaltigen organischen Substanz notwendige Kohlenhydrat, der Traubenzucker, von den Blättern aus entgegenkommt und daß dann da, wo beide zusammentreffen, die Assimilation der Salpetersäure erfolgt, was an den verschiedensten Orten in der Pflanze geschehen kann, sogar schon in den Wurzeln, sodaß also in diesem letzteren Falle die frühere Annahme von der alleinigen Assimilation der Salpetersäure in den Blättern und der Auswanderung des Assimilationsproduktes derselben aus den Blättern ganz ausgeschlossen ist. Auch wo das stickstoffhaltige Assimilationsprodukt durch symbiotische Pilze in den Mykorrhizen (S. 49) oder in den Pilzkammern der Leguminosen-Wurzelknöllchen (S. 51) gewonnen wird, muß es in aufwärtsgehender Richtung in die Pflanze geleitet werden. Ob und in welcher Weise eine Wanderung des aus dem freien Luftstickstoff stammenden stickstoffhaltigen Assimilationsproduktes in der Pflanze anzunehmen ist, bleibt noch festzustellen; es wäre denkbar,

daß freier Stickstoff in jeder einzelnen Pflanzenzelle direkt assimiliert werden kann, sodaß hierbei weniger an eine Wanderung gedacht zu werden braucht.

2. Auswanderung der Reservestoffe. Die im ruhenden Samen sowie die zur Winterszeit in den Wurzeln, Knollen, unterirdischen Stöcken und Zwiebeln der perennierenden Pflanzen und in der Rinde und im Holzkörper der Bäume aufgespeicherten Reservestoffe (S. 119) liefern das Material für die erste Ernährung der beim Keimen und beim Wiedererwachen der Vegetation entstehenden neuen Organe; sie wandern also in diese ein. Auch hier handelt es sich um stickstofffreies und stickstoffhaltiges Material. Das erstere, gleichgiltig, in welcher chemischen Form es je nach Pflanzen aufgespeichert ist, wie Stärkemehl, Cellulose, Inulin, Rohrzucker, fettes Öl, geht, um seine Wanderung zu vollziehen, in Traubenzucker über; diesen können wir in den sich bildenden neuen Organen und zwar wiederum in den Parenchymzellen derselben wirklich nachweisen. Das stickstoffhaltige Material, welches größtenteils in Form von Eiweißkörpern reserviert ist, geht behufs der Auswanderung in Amide über, die wir in dieser Periode in besonders reicher Menge wiederum in den Parenchymzellen der jungen Organe, zusammen mit Zucker vorfinden. Daher der bekannte reiche Gehalt an Asparagin in den jungen Trieben des Spargels, der Kartoffel, der Lupine, des Kleeß u. Das meiste Stärkemehl, welches in den parenchymatischen Zellen des Holzkörpers des Baumstammes und seiner älteren Äste und Zweige, sowie der Wurzeln im Winter reserviert liegt, wird an Ort und Stelle für den ersten Aufbau des neuen Holzh Jahresringes gebraucht und wandert auf dem kürzesten Wege durch die nächstgelegenen Markstrahlen nach dem Kambium (S. 120), wohin andererseits auch die im Phloem deponierten Eiweißstoffe das erforderliche stickstoffhaltige Material liefern. Es läßt sich bei der Keimung der Samen quantitativ nachweisen, daß die darin als Reservematerial aufgespeicherten Eiweißstoffe zunächst in Amide sich umwandeln, welche dann in die Keimpflanze einwandern. So enthalten z. B. die ungekeimten Samen der gelben Lupinen 9,46 pCt. Stickstoff; davon kommen 8,15 auf Eiweißstoffe, 1,31 auf andere Stickstoffverbindungen. Läßt man die Samen im Dunkeln und bei Ausschluß von Stickstoffnahrung keimen, so findet sich nach 13 Tagen, daß 3,86 pCt. Stickstoff in Form von Amid, die vorher ganz fehlten, vorhanden sind, und daß die Eiweißstoffe sich entsprechend vermindert haben. In der Keimpflanze aber regenerieren sich nun aus diesem als Translokationsmaterial fungierenden Amid, wieder die Eiweißstoffe, die ja zum Aufbau der Keimpflanze gebraucht werden. Um nun aber aus Amid, wieder Eiweißstoffe zu bilden, müssen notwendig stickstofffreie Verbindungen eintreten. Damit hängt wahrscheinlich die Tatsache zusammen, daß in den Keimpflanzen die Amide sich anhäufen, wenn es denselben an dem zu jener Umwandlung erforderlichen stickstofffreien Material gebricht. Es ist nämlich bekannt, daß, wenn die Keimpflanzen von Leguminosen im Dunkeln wachsen, ungewöhnlich viel Amid

in ihnen erzeugt wird; im Dunkeln ist aber eben die Kohlenstoffassimilation, also die Zufuhr stickstofffreien Materials, ausgeschlossen. Die gleiche Anhäufung von Amiden in diesen Keimpflanzen hat man nun auch im Lichte in kohlenstofffreier Luft beobachtet, was also eine Bestätigung jener Auffassung sein würde. Das allmähliche Wiederver Verschwinden oder Abnehmen der Amide in der jungen Pflanze nach der Keimung, wie es unter normalen Verhältnissen eintritt, ließe sich also aus der Umwandlung der Amide in Eiweißstoffe unter Aufnahme der hier reichlich sich bildenden Kohlenhydrate erklären. Indessen weiß man auch, daß wenn die Pflanze sich im Kohlenstoffhunger befindet, das mangelnde stickstofffreie Material einem Teil der vorhandenen Eiweißstoffe entlehnt wird, wobei letztere in Amide, welche zurückbleiben, und in stickstofffreie Verbindungen sich spalten. Bei Lupinen und anderen Leguminosen ist nämlich im ruhenden Samen das stickstofffreie Material gering gegenüber den Eiweißstoffen, während es beim Keimen reichlicher gebildet, also doch wohl von den letzteren entlehnt wird.

IV. Stoffe, welche behufs Nahrungserwerbung gebraucht werden.

In der Ernährungslehre haben wir gesehen, daß die Pflanze gewisse eigenräumliche Stoffe besitzt, welche ihr bei der Erwerbung der Nährstoffe wichtige, zum Teil unentbehrliche Dienste leisten, indem teils die Assimilation der rohen Nährstoffe in einer chemischen Aktion besteht, die von gewissen Pflanzenstoffen besorgt wird, teils manche Nährstoffe überhaupt erst für die Pflanze aufnehmbar gemacht, gewissermaßen verdaut werden dadurch, daß die Pflanze besondere Stoffe ausscheidet, welche solche an und für sich unlösliche Nährstoffe in lösliche, also aufnehmbare Form überführen. Diese Bedeutung in der Pflanze haben besonders folgende Stoffe.

1. Das Chlorophyll, welches die grüne Farbe der Pflanzen bedingt und wie wir oben gesehen haben, bei der Assimilation der Kohlenensäure eine unentbehrliche Rolle spielt (S. 60). Es ist schon oben erwähnt worden (S. 63) daß dieser Farbstoff überall an das Protoplasma, meist an differente aus Protoplasma bestehende Farbstoffträger gebunden ist, auch sind am obigen Orte bereits die wichtigsten chemischen und optischen Eigenschaften dieses Farbstoffes beschrieben worden, sowie des gelben Farbstoffes, des Xanthophylls, gedacht worden, welches ein steter Begleiter des Chlorophylls ist. Es wurde aber auch daselbst hervorgehoben, daß nur dem Chlorophyll die assimilatorische Kraft innewohnt, daß jedoch immerhin das Hauptthätige bei der Kohlenensäure-Assimilation das lebende Protoplasma ist, das Chlorophyll nur ein unentbehrliches Hilfsmittel dabei darstellt, welches vielleicht nach Art eines Fermentes die Zersetzung der Kohlenensäure bewirkt.

Die Pflanze bildet das Chlorophyll nur unter gewissen Bedingungen. Zu den letzteren gehören: 1. Licht. Wenn Pflanzen im Dunkeln keimen oder wachsen,

so werden sie nicht grün, sondern bloß gelb oder ganz farblos. Dieser Krankheitszustand ist unter dem Namen Etiollement oder Vergeilen bekannt. Setzt man etiolirte Pflanzen aus Licht, so ergrünen sie in einem oder wenigen Tagen. Auch wenn man an einem im Lichte befindlichen Blatte oder Triebe ein beliebiges Stück verdunkelt hält, unterbleibt in dem letzteren die Chlorophyllbildung, während sie an den übrigen Partien eintritt. Die Wirkung ist also eine unmittelbare auf die einzelne Zelle. In den etiolirten Pflanzentheilen sind zwar die Farbstoffkörper sichtbar, aber dieselben sind nur schwach gelb gefärbt. Der hier vorhandene gelbe Farbstoff, das Etiolin, welches ebenfalls durch Alkohol extrahierbar, zeigt in seinen optischen Eigenschaften gewisse Abweichungen vom Chlorophyll, aber es ist nicht mit dem Xanthophyll identisch, vielmehr als eine Vorstufe des Chlorophylls selbst zu betrachten, denn es wandelt sich im Lichte in dieses um. Directes Sonnenlicht wirkt auf das Ergrünen langsamer als ein Licht mittlerer Intensität; aber selbst bei derjenigen geringen Helligkeit, welche uns das Lesen kleinen Druckes nicht mehr gestattet, findet schon das Ergrünen statt. Bei den Keimpflanzen gewisser Koniferen, wie Tanne, Fichte, Kiefer, bildet sich sogar in voller Dunkelheit etwas Chlorophyll, doch sehen solche Keimpflanzen mehr gelbgrün aus und nehmen erst am Lichte ihr gesättigtes Grün an; auch etioliren manche Individuen derselben im Dunkeln in gewöhnlicher Weise. Als Seltenheit kommt sogar manchmal an einzelnen Keimpflänzchen dikotyler Pflanzen Ergrünung im Dunkeln vor. Die Lichtfarben üben insofern einen Einfluß, als die Ergrünung etiolirter Pflanzen bei hoher Lichtintensität am schnellsten im Blau und Violett, bei geringer Helligkeit am schnellsten im Gelb und Rot erfolgt. 2. Temperatur. Auch trotz der Einwirkung der Lichtstrahlen unterbleibt die Chlorophyllbildung bei gewissen ungünstigen Temperaturen. Die untere Grenze liegt z. B. für *Phaseolus multiflorus*, *Zea mais*, *Brassica napus* bei $+ 6^{\circ} \text{C.}$, die obere bei $+ 33^{\circ} \text{C.}$ 3. Gegenwart von Eisen. Von der Nothwendigkeit desselben zur Chlorophyllbildung ist bereits oben S. 89 die Rede gewesen. 4. Zur Chlorophyllbildung gehören aber auch gewisse in der Pflanze selbst liegende Bedingungen. Keineswegs alle Zellen der Pflanze bilden Chlorophyll, obgleich sie sich ohne Zweifel alle unter den äußeren Bedingungen der Chlorophyllbildung befinden; wir sehen diesen Prozeß hauptsächlich auf die Mesophyllzellen des Blattes, auf die Stengelrinde, auf das Parenchym unreifer Früchte beschränkt. Es giebt auch Spielarten von Pflanzen, wo die sonst grünen Blätter weiße Flecke oder Streifen besitzen, an denen eben die Chlorophyllbildung spontan unterblieben ist; solche Blätter nennt man panachirt. Der höchste Grad dieser Erscheinung ist der an einzelnen Individuen sich zeigende Krankheitszustand, den man als Bleichsucht oder Gelbsucht bezeichnet, wo die ganze Pflanze, trotzdem sie sich unter allen äußeren Bedingungen der Ergrünung befindet, doch kein Chlorophyll bildet, wobei sie natürlich nur eine beschränkte Zeit zu leben vermag wegen der verhinderten Kohlensäureassimilation.

Das Chlorophyll ist leicht zersetzbar. Besonders wird es in Berührung mit Säuren oxydiert zu einem in Form gelber oder schmutziggelber ölartiger Tropfen oder Fäden an den Chlorophyllkörnern sich abscheidenden Farbstoff, den man Chlorophyllan oder Xanthochlorin genannt hat (vgl. Fig. 25). Zugleich entsteht dabei manchmal auch ein roter Farbstoff, Erythrophyll. Durch Reduktion, z. B. mit Zinkstaub kann man aus dem Chlorophyllan wieder reines Chlorophyll darstellen. Natrium, auch Basen oder Carbonate, geben mit Chlorophyllan grüne Salze, in denen eine Chlorophyllinsäure vorhanden ist. Konzentrierte Salzsäure spaltet das Chlorophyllan in das blaue Phyllocyanin und das gelbe Phylloxanthin. Auch in der lebenden Pflanze findet vielfach eine Zerstörung des Chlorophylls statt. Normal geschieht das fast immer, sobald das natürliche Lebensende der grünen Teile erreicht ist; das Gelbwerden des reifen Strohes und der Baumblätter vor dem herbstlichen Abfallen hängt damit zusammen. Wir sehen nämlich hier die Chlorophyllkörner samt dem grünen Farbstoff in den Zellen verschwinden; das Material wandert von dort aus, um für andere Zwecke der Pflanze nutzbar gemacht zu werden; dafür bleibt in den Zellen das das Chlorophyll begleitende Xanthophyll in Gestalt ölartiger gelber Tröpfchen zurück. Dieser Farbstoff bedingt also das Gelb des Strohes, des Herbstlaubes etc. Um den nämlichen Vorgang handelt es sich auch, wenn grüne Blätter infolge schädlicher Einflüsse vorzeitig absterben, wobei sie sich auch in Gelb verfärben, wie z. B. infolge übergroßer Trockenheit oder, wenn sie ununterbrochen verdunkelt werden. Die Dunkelheit an sich aber zerstört das Chlorophyll nicht, denn Blätter, welche in der Dunkelheit sehr lange am Leben zu bleiben vermögen, verlieren dabei auch ihr Chlorophyll nicht, wie z. B. viele Wasserpflanzen; die meisten Landpflanzen aber sind dagegen sehr empfindlich; ihre Blätter werden in konstanter Finsternis, sogar schon in schwacher Helligkeit bereits nach wenigen Tagen gelb, aber nicht etwa weil die Dunkelheit das Chlorophyll zerstört, sondern weil die Pflanze darin ihre Blätter preisgibt, vorher aber dieselben entleert, wobei eben auch das Chlorophyll, wie es sonst immer vor dem Tode geschieht, resorbiert wird.

2. Die organischen Säuren, insbesondere die Oxalsäure. Allgemein treten im Grundgewebe aller vegetativen Organe, besonders der oberirdischen Pflanzenteile organische Säuren auf, unter denen jedenfalls Klee- oder Oxalsäure die verbreitetste ist. Wir finden sie in diesen Geweben teils als freie Säure, teils in Form der sogleich zu beschreibenden Krystalle von Calciumoxalat. Der Sauertlee, Sauerrampfer und andere saure Pflanzen verdanken ihren Geschmack dieser Säure; auch die Rübenblätter sind reich daran. Die Bedeutung der Oxalsäure für die Pflanze besteht darin, daß sie bestimmt ist, die mineralischen Basen, vorzüglich Kalk zu binden, welche die für die Ernährung unentbehrlichen Mineralsäuren, wie Salpetersäure, Phosphorsäure, Schwefelsäure in Salzform, meist in Form von Kalksalzen, in die Pflanze einführen und diese

Säuren zur Bildung von Amidn und Eiweißstoffen abgeben müßten (S. 68). Es sind besondere einzeln und zerstreut vom Grundgewebe, besonders der Blätter und der Rinden liegende Zellen, in denen die so entstehenden Calciumoxalatkrystalle abgeschieden werden; wir finden sie hier bald in Form von Nadeln, die bündelweis beisammen liegen (Raphiden), bald in Form von Tetraedern, Oktaedern u., vielfach in unregelmäßigen drüsensförmigen Aggregaten (Fig. 37). Die Säuren in den vegetativen Teilen der Pflanze spielen also bei der Assimilation der erwähnten Mineralsäuren eine wichtige Rolle. Mit dieser Bedeutung steht auch im Einklange, daß die einmal gebildeten Krystalle von klee-saurem Kalk in den meisten Fällen nicht wieder verschwinden, sondern unverändert in ihren Zellen liegen bleiben; es beweist dies, daß die Oxalsäure nur zur Neutralisierung und Abscheidung des Kalkes gebildet worden war.

Was das Auftreten der Säuren in den vegetativen Teilen anlangt, so haben im allgemeinen die Blätter den sauersten, die Stengel einen weniger, die Wurzeln einen noch weniger sauren Saft; und bei dicken Stengeln und Blättern ist die grüne Rinde saurer als das weiße Mark. Man weiß, daß der Säuregehalt dieser Teile einer täglichen periodischen Schwankung unterworfen ist, dergestalt, daß er in der Nacht größer, am Tage geringer ist; manche Pflanzenteile nehmen da-

Fig. 37.

Calciumoxalat-Krystalle des Weinstocks.

Auf einem Stück Längsschnitt durch die Rinde sieht man vereinzelt zwischen den mit Chlorophyllkörnern versehenen Rindenzellen andere Zellen liegen, welche kein Chlorophyll, aber Krystallbildungen enthalten, bald in Form eines Bündels von Nadeln, Raphiden, wie in r (bei a ist durch Aufschneiden der Zelle das Krystallnadel-Bündel herausgerissen worden), bald in Form von Krystalldrüsen, wie bei d.

her in der Nacht einen sauren Geschmack an, den sie am Tage wieder verlieren. Zuerst hat man diese Erscheinung an Krassulaceen entdeckt, wo sie allerdings am auffallendsten ist, indem z. B. *Bryophyllum* an sonnigen Augusttagen 11 mal weniger Säure enthalten kann als in der Nacht. Aber sie ist eine allgemeine Regel, die auch bei anderen Pflanzen konstatiert worden ist. Das Maximum liegt in den ersten Morgenstunden, dann sinkt die Acidität bis zum Abend, wo das Minimum erreicht wird, und steigt während der Nacht stetig. Der Vorgang ist direkt vom Lichte abhängig, denn er läßt sich lokal an den Pflanzenteilen durch Verdunkelung einzelner Stellen hervorrufen. Erhöhung der Temperatur beschleunigt die Zersetzung der Säure bedeutend. Die Entsäuerung durch das Licht ist mit einer Abscheidung von Sauerstoff verbunden, denn auch in kohlenstoffreicher Luft, wo keine Sauerstoffabspaltung aus Kohlenäure durch Assimilation stattfinden kann, scheiden die sauren Blätter unter Entsäuerung Sauerstoff aus. Man vermutet daher, daß die Zersetzung der Säure eine Oxydation, hervorgerufen durch die Sauerstoffabscheidung bei der Assimilation, ist, und daß dabei Kohlenäure und Wasser entstehen, die dann aber vom Chlorophyll wie gewöhnlich unter Sauerstoffabscheidung wieder assimiliert werden. Diese Säuren entstehen nachts, vermutlich aus dem aus den Assimilationsorganen stammenden Zucker, und die Säuren wären dann Produkte der unvollständigen Oxydation bei der Atmung. An der nächtlichen Säurebildung sind als beteiligt Äpfelsäure, auch Ameisen- und Essigsäure erkannt worden.

Auch noch in einer andern Beziehung sind organische Säuren bei der Verwertung von Nährstoffen beteiligt, nämlich in den Wurzelabscheidungen der Pflanzen (S. 21), in denen organische Säuren vorhanden sind, durch welche ungelöste Bodenbestandteile aufgeschlossen, also löslich und aufnehmbar für die Pflanze gemacht werden.

3. Pepsin, dasjenige Ferment, welches Eiweißstoffe in lösliche Verbindungen, sogenannte Peptone, umwandelt und bekanntlich im tierischen Körper die wichtigste Rolle bei der Verdauung der Eiweißstoffe spielt, wird auch im Pflanzentkörper dort gebildet, wo es auf Verdauung tierischen Eiweißes abgesehen ist, nämlich besonders in den Sekreten der insektenfressenden Pflanzen (S. 82).

4. Die Diastase oder das stärkelösende Ferment, verdient ebenfalls in dieser physiologischen Reihe von Stoffen genannt zu werden, weil durch dieselbe das in den Reservestoffbehältern aufgespeicherte Stärkemehl löslich gemacht und daher für die Ernährung der Pflanze mobilisiert wird. Von der Auflösung der Stärkekörner bei der Reimung der Kartoffelknollen und der stärkehaltigen Samen ist oben (S. 112 und 115) die Rede gewesen. Sie geschieht durch die Einwirkung der Diastase, welche zu dieser Zeit in den betreffenden Zellen entsteht. Über ihre Wirkung ist oben S. 100 nachzulesen.

V. Verschiedene Stoffe, welche als Anlockungsmittel für Insekten bei der Befruchtung der Blüten gebraucht werden.

Bei den meisten Pflanzen geschieht die Übertragung des Blütenstaubes von einer Blüte auf die andere, worauf die Befruchtung derselben beruht, durch Insekten, welche die Blüten besuchen. Um diese Tiere anzulocken, erzeugt die Pflanze in den Blüten gewisse Stoffe. Es sind das folgende:

1. Honig oder Nektar. Um auf den Geschmackssinn dieser Tiere zu wirken, wird der genannte süß schmeckende Saft als Lockspeise erzeugt; die Honigabsonderung erfolgt in den sogenannten Nektarien, d. s. gewisse Stellen der Blütheile, deren Epidermiszellen diesen Saft absondern, in welchem sowohl Fruchtzucker wie Traubenzucker vorhanden ist. Es handelt sich hier um eine Oberhautsekretion (S. 130), denn diese sehr konzentrierte Zuckerlösung schwimmt aus der Außenmembran der Epidermiszellen heraus, wahrscheinlich zum Teil aus einer Metamorphose der Außenwandungen entstehend, wobei die Cuticula gesprengt wird. Die reichlichere Ausscheidung von Wasser hierbei ist erst die Folge davon, daß außerhalb der Zelle jener osmotisch wirksame Stoff vorhanden ist, welcher aus der Zelle Wasser saugt, ebenso wie jede Stelle einer Schnittfläche eines beliebigen Pflanzenteils sich mit Wasser bedeckt, wenn man ein Körnchen Zucker oder Salz darauf legt. Denn wenn man das Nektarium mit Wasser abwäscht, so hört die Ausscheidung auf und tritt erst wieder ein, wenn eine geringe Zuckermenge darauf gebracht worden ist.

2. Ätherische Öle. Auch auf den Geruchssinn der Insekten wirken die Blüten und lenken dadurch dieselben auf sich; der Wohlgeruch vieler Blüten, der auf der Erzeugung verschiedenartiger ätherischer Öle (S. 96) beruht, hat diese Bedeutung.

3. Blütenfarbstoffe. In noch höherem Grade wird auf den Gesichtssinn der Blütenbesucher gewirkt durch die verschiedenen Farbstoffe, welche in den Blüten gebildet werden, und theils aufgelöst im Zellsaft wie das Anthocyan (S. 102), theils an besondere Farbstoffkörper gebunden wie das Xanthin (S. 102) in den Zellen der Blumenblätter vorkommen, die durch ihre lebhaften Farben die Blüten für die Insekten weithin sichtbar machen.

VI. Verschiedene Stoffe in den Früchten, welche als Lockmittel zur Verbreitung der Samen wirken.

Diejenigen Stoffe, welche in den Früchten, besonders im Obst erzeugt werden und den Wohlgeschmack desselben bedingen, können für den ferneren Stoffhaushalt in den Pflanzen keine Bedeutung haben, denn sie trennen sich ja mit den Früchten von der Pflanze. Der physiologische Zweck ihrer Erzeugung besteht darin, daß dadurch die Früchte für Menschen und Tiere begehrt gemacht

werden und daß somit den darin enthaltenen Samen zu möglichst weiter Verbreitung verholfen wird. Der Traubenzucker und Fruchtzucker, die verschiedenen Pflanzensäuren, die aromatischen Stoffe und verschiedenen Farbstoffe, welche in den Obstfrüchten gebildet werden, haben für die Pflanze keine andere als diese Bedeutung. Der Zucker in den Früchten entsteht, wie oben erwähnt, aus den in den Blättern unter dem Einflusse des Lichtes erzeugten Kohlenhydraten. Die Frucht selbst braucht zu diesem Zwecke sich nicht am Lichte zu befinden, sobald dies nur mit den grünen Blättern der Fall ist. Hohe Temperatur befördert die Zuckerbildung im Obste, weil sie die Zuleitung der Assimilationsprodukte aus den Blättern beschleunigt.

VII. Verschiedene Absonderungen (Sekrete), welche als Schutzmittel der Pflanze dienen.

Eine Menge der verschiedenartigsten Pflanzentoffe entsteht als eine außerhalb der Zellen sich ansammelnde Absonderung, und zwar entweder direkt an der Oberfläche der Pflanze, die sogenannten Oberhautsekretionen, oder in gewissen Behältern innerhalb der Pflanze, d. s. die inneren Sekretionen. Ihrer physiologischen Bedeutung nach können wir jetzt alle diese Stoffe als Schutzmittel der Pflanze ansprechen, sei es daß sie zur Abwehr schädlicher Tiere dienen, sei es, daß sie die Pflanze vor übermäßigem Wasserverlust durch Transpiration schützen, sei es endlich, daß sie zur Bedeckung und Konservierung von Wundstellen bestimmt sind.

1. Oberhautsekretionen.

1. Wachsausscheidungen. Blätter oder Früchte mancher Pflanzen scheiden an der Oberfläche Wachs ab. Es ist dies der zarte bläuliche Überzug auf den Kohlblättern, Weinbeeren, Zwetschen u. Derselbe besteht aus sehr kleinen, dicht beisammen liegenden Wachskörnchen, welche hier aus der Cuticula direkt ausschüpfen; einmal gebildet und durch Abwischen entfernt entsteht dieser Wachsüberzug nicht von neuem. Derselbe schützt vor zu starker Verdunstung (S. 25) und vor Benetzung mit Wasser.

2. Ausscheidungen von ätherischen Ölen und Balsamen. Gewisse Kräuter verbreiten um sich einen starken, betäubenden, oft widerwärtigen Geruch, der ihnen als Schutzmittel gegen Tiere dient, welche dadurch von der Pflanze abgeschreckt werden. Der Geruch rührt her von ätherischem Öl, welches meist von besonderen Drüsenhaaren abgesondert wird, mit denen die betreffenden Blätter bedeckt sind, wie z. B. bei den Labiaten u. Bei manchen Pflanzenteilen finden wir die Oberfläche mit einem harzartigen oder klebrigen mehr oder weniger riechenden Überzuge versehen, durch welchen dieselben wie lackiert aussehen, wie z. B. die Blätter der Erlen, Birken und Pappeln, und namentlich die Knospen

vieler Bäume, was wohl auch ein Schutzmittel, sei es gegen Tiere, sei es gegen übermäßige Verdunstung, ist. Von der Entstehung aller dieser Absonderungen weiß man, daß sie meist in der Membran der betreffenden Epidermiszellen, und zwar zwischen den Innenschichten und der Cuticula zuerst sichtbar werden, durch ihre Ansammlung die letztere sprengen und dann frei hervortreten. Bei den erwähnten Drüsenhaaren geschieht dies vornehmlich an der köpfchenförmigen Endzelle derselben. Bei den gefirnisten Blättern entsteht das Sekret in der eben beschriebenen Weise entweder aus allen Epidermiszellen oder aus besonderen haarartigen Bildungen der Epidermis, den sogenannten Leinzotten.

3. Die Schleim-Epidermis mancher Samen. Die bekanntesten Beispiele hiervon sind die Samen des Leins, der Kresse und mancher anderer Cruciferen. Wenn diese Samen mit Wasser benetzt werden, so bedeckt sich ihre ganze Oberfläche mit einer Schleimhülle. An den trockenen Samen ist dieser Schleim in ungequollenem Zustande in den Epidermiszellen enthalten und zwar in Form von Verdichtungsschichten der Membranen dieser Zellen. Bei Wasserzutritt quillt diese Substanz auf, durchbricht die Epidermiszellen und hüllt den Samen in Schleim. Diese Schleimumhüllung hat den Zweck, den Samen an der feuchten Unterlage festzuleimen und dadurch dem heranwachsenden Würzelschen den Rückhalt zu geben, den es nötig hat um in die Erde eindringen zu können; feimende Samen, die der Schleimschicht künstlich entkleidet sind, bringen ihre Würzelschen kaum in den Boden.

2. Innere Sekretionen.

Vielfach finden sich innerhalb der Pflanze besondere Behälter, in denen eine eigentümliche meist flüssige Substanz abgesondert ist, welche schon bei der geringsten Verwundung des Pflanzenteiles reichlich hervorfließt und die Wunde bedeckt. Diese Sekretbehälter sind ihrem anatomischen Charakter nach entweder Lücken zwischen den Zellen, also ohne eigene Haut; diese gehören also zu den Interzellularen; man nennt sie generell interzelluläre Sekretbehälter. Sie bilden sich auf zweierlei Weise, und danach ist auch die Art, wie das Sekret entsteht, eine verschiedene. Lytischen nennt man sie, wenn an der Stelle des Kanales ursprünglich Zellen sich befanden, welche dann verschwunden sind, indem ihre Membranen sich auflösten; dabei ist das, was als Sekret den Kanal erfüllt, vorher als Zellinhalt in den betreffenden Zellen entstanden. Der andere gewöhnlichere Vorgang ist die schizogene Entstehung. Hier bildet sich der Interzellularkanal dadurch, daß die Zellen selbst auseinanderweichen und durch ihre Vermehrung im Umkreise des Kanales den letzteren erweitern. In diesem Falle haben die den Kanal unmittelbar einfassenden Zellen eine besondere Beschaffenheit: sie stellen kleine, dünnwandige, nur mit Zellsaft und wenigem Protoplasma erfüllte Zellen dar; von ihnen geht die Sekretion aus, sie sondern das Sekret in das Innere des Kanales ab, selbst aber enthalten sie in ihrem Innern in der

Regel nichts davon. Es giebt aber auch Sekretbehälter mit eigener Haut, also eigentliche Zellen, welche schon im jugendlichen Zustande des Pflanzenteiles den übrigen Zellen unähnlich werden, indem sie meist zu schlauchförmigen Röhren auswachsen, auch wohl durch Vereinigung mit einander zu einem System von Röhren werden, wobei sie in ihrem Innern das besondere Sekret erzeugen; sie

Fig. 38. Ölgänge der Kiefernadel.

Stück der Kiefernadel im Querschnitt; e Epidermis, sp Spaltöffnungen, h unter der Epidermis liegende Schicht dickwandiger mechanischer Zellen, p das chlorophyllführende Blattgewebe mit gefalteten Zellwänden. Darin stehen in bestimmten Entfernungen die Ölgänge o, in denen Terpentinöl enthalten ist: jeder ist schizogen entstanden und ausgekleidet von einer Lage zartwandiger secernierender Zellen, um welche noch eine mechanische Scheide von dickwandigen Zellen sich herumlegt. In der Mitte der doppelte Fibrovasalstrang, nur die eine Hälfte dargestellt, bestehend aus dem Holzteil h und dem Siebteil s, umgeben von einer dicken Parenchymscheide k.

(Nach Tschirsch.)

werden Sekretschläuche genannt. Bezüglich des in ihnen enthaltenen Sekretes sind jedoch die hier genannten Arten von Behältern von verschiedenem Charakter; fast jedes der sogleich zu erwähnenden Sekrete kommt je nach Pflanzenarten bald in intercellularen Behältern, bald in Sekretschläuchen vor. Wir stellen hier die wichtigsten Stoffe, welche als innere Sekretionen zu betrachten sind, zusammen.

1. Ätherisches Öl und Harz. Sehr verbreitet sind die Öl- und Harzgänge, d. i. kanalförmige intercellulare Behälter, welche in Mehrzahl durch die Rinde und durch die Blätter, manchmal auch im Holze vieler Pflanzen, besonders

vieler Holzpflanzen, der Länge nach sich erstrecken und beim Einschneiden in diese Teile ihren Inhalt, ein ätherisches Öl, oder Harz, oder Balsam (ein Gemenge von Öl und Harz), oder Gummiharz (ein Gemenge von Gummi mit Öl oder Harz), herausfließen lassen. Besonders sind die Nadelbäume, wie Kiefer, Fichte, Tanne, Lärche durch Harzgänge ausgezeichnet. Aber auch bei vielen ausländischen Bäumen kommen solche Sekretbehälter vor. Weihrauch, Myrrhe, Mastix, Kopal, Kopaviabalsam, Perubalsam, Tolubalsam und viele andere wertvolle Produkte sind hierher gehörige Sekrete, die aus den verschiedensten Bäumen warmer Länder ausfließen. Auch die Fruchtschalen mancher Pflanzen besitzen Ölgänge, besonders bei den Umbelliferen, wodurch z. B. die Früchte des Kümmels, Fenchels, Anis u. ihren charakteristischen Geruch und Geschmack erhalten.

2. Milchsaft. Manche Pflanzen lassen bei Verwundung einen sogen. Milchsaft ausfließen, eine meist weiße seltenere gelbe milchartige Flüssigkeit, deren milchige Beschaffenheit herrührt von zahllosen kleinen Kautschukförmigen, auch wohl von Harz- und Fetttropfen, welche darin verteilt sind; der Milchsaft enthält aufgelöst Gummi, Traubenzucker, Gerbstoff und immer auch Alkaloide, auf denen seine giftigen Eigenschaften beruhen. Meistens ist der Milchsaft enthalten in Sekretschläuchen, welche als Milchsafttröhren (Fig. 39) bezeichnet werden, z. B. beim Wohn, bei vielen Kompositen, bei den Euphorbiaceen u., wo diese Röhren durch Wurzeln, Stängel, Blätter u. sich erstrecken.

3. Gummi oder Schleim. Bei manchen Pflanzen finden sich in den verschiedensten Organen bald intercellulare Kanäle, bald Sekretschläuche, welche ganz mit klarem, wasserreichem Gummi oder Schleim erfüllt sind und dement-

Fig. 39. Milchsafttröhren aus dem Stamm von *Euphorbia resinifera* im Längsschnitt durch die Rinde, wo zwischen den Parenchymzellen pp die mit Milchsaft erfüllten verzweigten Milchtröhren m m in verschiedenen Richtungen laufen.

(Nach Tschirch.)

sprechend Gummigänge und Gummischläuche genannt werden, erstere z. B. bei den Cycadeen, letztere bei Liliaceen, Irideen, Orchideen, Malvaceen, Tiliaceen u. Von anderer Art ist die im Holze fast aller Laubhölzer unter gewissen Bedingungen eintretende Bildung desjenigen Gummi, welches als Wund- und Kerngummi bezeichnet werden kann. Wenn das Holz in Kernholz oder an Wundstellen des Holzkörpers in Schutzholz übergeht, wobei es eine dunklere Färbung annimmt, so beruht dies, wie wir S. 38 gesehen haben, darauf, daß die Hohlräume der Gefäße mit einer harten knorpelartigen Masse von Gummi ausgefüllt werden, welches gleich wie Pfropfen die Gefäße verschließt und dadurch solches Holz leitungsunfähig für Wasser macht, aber auch das Eindringen von Luft und Wasser von außen in das lebende und funktionierende Holz verhindert. Dieses Gummi entsteht als ein Sekret aus den die Gefäße umkleidenden Zellen der Gefäßscheide (S. 34).

Die Bedeutung dieser inneren Sekretionen für die Pflanze ist, soweit es sich um ätherische Öle, Harze Balsame, Gummiharze und Milchsaft handelt, die von Schutzmitteln gegen Angriffe schädlicher Tiere und gegen die den Wundstellen gefährliche Fäulnis. Denn diese Sekrete kommen durch ihr Hervorfließen bei jeder geringsten Verletzung zur Wirksamkeit. Die bitteren giftigen Eigenschaften der Milchsaft sind Tieren zuwider; ätherische Öle, Harze, Balsame u. sind wegen ihrer antiseptischen und konservierenden Eigenschaften vortreffliche Wundbedeckungsmittel, welche die Wunden der Pflanzen gegen das Eindringen von Luft oder Wasser schützen. Einen jedenfalls ganz anderen Zweck haben die Gummigänge und Gummischläuche; man hat sie wegen der Hygroscopicität des Gummischleimes als Wasserspeicher für die Gewebe, in denen sie zerstreut liegen, gedeutet. Die besondere Bedeutung des Wund- und Kerngummi für das Holz ist im Vorstehenden und weiter oben S. 38 bereits erwähnt worden.

3. Kapitel.

Die Atmung oder Respiration.

In der lebenden Pflanze wird fortwährend ein Teil der kohlenstoffhaltigen organischen Substanz veratmet, d. h. wieder in Kohlensäure und Wasser umgesetzt. Unter gewöhnlichen Umständen, d. h. bei Gegenwart von Sauerstoff wird dabei von der Pflanze Sauerstoff aufgenommen und zu diesen Oxydationsprozessen verbraucht. Die Atmung der Pflanze bedeutet also dasselbe, wie diejenige des Tieres. Auch insofern herrscht Übereinstimmung, als die Atmung bei den Pflanzen ein Zeichen und auch eine Bedingung des Lebens ist. Mit dem Tode hört auch der eigentliche Atmungsprozeß auf. Und wenn Pflanzen auf längere Zeit vom Sauerstoffzutritt ausgeschlossen sind, so erlöschen ihre Lebensthätigkeiten, und schneller oder langsamer sterben sie ab.

Man kann die Atmung der Pflanzen leicht nachweisen, wenn man Pflanzenteile in einem abgeschlossenen Raume, z. B. unter einer hermetisch schließenden Glasglocke, hält und dann eine von Kohlensäure befreite (durch Kalilauge geleitete) Luft eintreten läßt; leitet man die wieder austretende Luft durch Barytwasser, so entsteht darin ein Niederschlag von kohlensaurem Baryt, durch den man die von der Pflanze ausgeatmete Kohlensäure bestimmen kann; auch läßt sich in einer abgeschlossenen Luft, in welcher lebende Pflanzenteile sich befinden, die Abnahme von Sauerstoff analytisch bestimmen. Diesen Vorgang zeigen nun alle lebenden Pflanzenteile; durch besondere Versuche ist er konstatiert von folgenden Organen: 1. Keimende Samen aller Pflanzen. Sobald mit der beginnenden Quellung der Samen das Leben erwacht, kommt die Atmung in Gang; sie steigt dabei schneller oder langsamer, um in den späteren Perioden der Keimung wieder ziemlich rasch abzunehmen, ohne ganz aufzuhören. 2. Die Knospen der Bäume, sobald sie sich zu öffnen beginnen. 3. Alle Blüten. Diese zeigen eine energichere Atmung als die anderen Teile der erwachsenen Pflanze. So ist z. B. bei *Cheiranthus incanus* der in 24 Stunden verbrauchte Sauerstoff auf das Volumen des atmenden Organes berechnet im Dunkeln an den grünen Blättern = 4, an den Blüten = 11; dabei atmen wieder von den Blütenteilen die Geschlechtsorgane am lebhaftesten, denn hier ist diese Zahl = 18. Wo eingeschlechtige Blüten vorkommen, atmen die männlichen stärker als die weiblichen. So sind z. B. beim Kürbis in 10 Stunden die entsprechenden Werte an männlichen Blüten = 7,6, an weiblichen = 3,5, beim Mais in 24 Stunden an den männlichen = 9,6, an weiblichen = 5,2. An einer und derselben Blüte ist die Atmung in den einzelnen Perioden ungleich; z. B. ist bei *Passiflora* der Atmungswert an den Blütenknospen = 6, an der aufgeblühten Blüte = 12, an der abblühenden = 7. 4. Alle Früchte, besonders die großen saftreichen Obstarten, zeigen während ihres Wachstums Respiration, welche mit zunehmender Reife allmählich abnimmt. 5. Die unterirdischen Organe, wie Wurzeln, Knollen, Zwiebeln. So absorbieren z. B. in 24 Stunden Rüben und Möhren ihr gleiches Volumen, Kartoffelknollen 0,4, Lilienzwiebeln 0,39 ihres Volumens Sauerstoff aus der umgebenden Luft. 6. Die grünen Pflanzenteile, also besonders die grünen Blätter. Bei diesen ist dies freilich nur im Dunkeln oder im schwachen Lichte bemerkbar, denn überall, wo Chlorophyll in größerer Menge vorhanden ist, findet am Lichte Assimilation von Kohlensäure statt (S. 59), die in der Aufnahme von Kohlensäuregas und in Abscheidung von Sauerstoff, also in einem Prozesse, der gerade der umgekehrte von dem der Atmung ist, besteht. Die Kohlensäure-Assimilation ist im Lichte so lebhaft, daß sie meist den Gasaustausch, den die Atmung bedingt, nicht nur kompensiert, sondern überwiegt. Aber im Dunkeln, wo die Kohlensäure-Assimilation stillsteht, wird auch an den grünen Pflanzenteilen Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureabscheidung nachweisbar. Auch am Tage geht in den grünen Organen neben der Assimilation die Atmung

fort; wenn man nämlich grüne Teile in einen abgesperrten Raum bringt, worin eine offene Schale mit Kalilauge sich befindet, so absorbiert die letztere die Kohlensäure stärker als es die grünen Blätter am Lichte thun, und man findet den Kohlensäuregehalt der Kalilauge auch im hellen Lichte zunehmend. In allen vorgenannten chlorophylllosen Pflanzenteilen findet dagegen Sauerstoffverbrauch und Kohlensäure-Ausscheidung beständig, sowohl bei Tag wie bei Nacht, statt. Dasselbe gilt auch 7. von den ganz chlorophyllfreien Pflanzen; sie atmen in gleicher Weise Tag und Nacht Sauerstoff ein und Kohlensäure aus. Man hat dies von den Pilzen, sowohl den größeren Schwämmen, als auch von den Schimmelpilzen, ebenso von nicht grünen Phanerogamen, wie *Orobanche*, *Lathraea*, *Neottia* u. konstatiert.

Man darf annehmen, daß die Atmung im Protoplasma einer jeden Zelle erfolgt. Vielleicht werden Eiweißmoleküle des lebendigen Protoplasmas beständig zerlegt; doch liefern auch andere Bestandteile der Zelle, wie Zucker u. s. w. Material zur Veratmung. Man darf sich nun aber die Atmung nicht als einen einfachen Verbrennungsprozeß vorstellen. Wenn immer ein der eingeatmeten Sauerstoffmenge entsprechendes Quantum Kohlensäuregas ausgehaucht würde, so müßte das Volumen-Verhältnis $\frac{CO_2}{O}$ immer = 1 gefunden werden, weil das in einem

Volumen Kohlensäuregas enthaltene Sauerstoffgas dasselbe Volumen einnimmt. Man findet aber dieses Verhältnis manchmal größer, häufig aber auch kleiner als 1, d. h. das Volumen des von der Pflanze aufgenommenen Sauerstoffes ist dann dem der abgeschiedenen Kohlensäure über.

So lange als eine Pflanze nicht neue kohlenstoffhaltige Substanz durch Ernährung erwirbt, wird also infolge der Atmung ihr Gehalt an Kohlenstoff, also an organischer Substanz, geringer, sie verliert an Trockensubstanz und muß so endlich an Verzehrung zu Grunde gehen, obgleich sie dabei noch immer wachsen, d. h. ihre Zellen durch Teilung vermehren und durch Aufnahme von Wasser ihre Zellen vergrößern kann. Es enthalten z. B. 22 Maiskörner, die man auf destilliertem Wasser zur Keimung bringt:

ungekeimt 8,636 g Trockensubstanz, worin 0,156 g Asche, samt den Keimpflänzchen 20 Tage

nach der Keimung 4,529 " " " 0,156 " "
woraus man sieht, daß sich der Substanzverlust nur auf die organischen Verbindungen, nicht auf die Aschenbestandteile erstreckt.

Beeinflussung der Atmung durch äußere Einwirkungen. Die Atmung ist abhängig von der vorhandenen Sauerstoffmenge und dem herrschenden Luftdruck. Beträgt der letztere 2—3 Atmosphären, so erfolgt noch normale Keimung; aber diese wird merklich verlangsamt bei 5 Atmosphären; bei 8 Atmosphären werden nur noch Wurzeln gebildet, bei 10 Atmosphären hört die Lebensthätigkeit so gut wie auf; damit geht Hand in Hand ein entsprechend geringerer

Sauerstoffkonsum. Hierbei ist aber nicht die Höhe des Luftdruckes, sondern nur die partiäre Pressung des Sauerstoffes die Ursache; denn in sauerstoffreicheren Gasgemengen zeigen sich die nämlichen Erfolge schon bei geringerem Drucke, und eine sauerstoffärmere Luft muß erst unter noch höheren Druck verfest werden, ehe die entsprechenden Erfolge sich einstellen. Auch die Temperatur beeinflusst die Atmung. In der Nähe von 0°, wo die Pflanze noch lebt, ohne zu wachsen, findet noch schwache Respiration statt. Mit Zunahme der Temperatur steigt auch rasch die Atmung, und zwar stetig bis zur Tötungstemperatur, wo sie mit dem Leben plötzlich erlischt. Das Licht ist nicht nur keine Bedingung der Atmung, wie die Lebhaftigkeit letzterer im Düstern beweist, sondern man hat bei Pilzen sogar die Beobachtung gemacht, daß schon im diffusen Tageslicht die Atmung geringer wird als im Dunkeln. Im konzentrierten Sonnenlichte aber (d. h. in einem mittels einer Linse vereinigten Strahlenbündel nach Ausschluß der erwärmenden Strahlen) findet eine so energische Atmung statt, daß schon in wenigen Minuten der Tod eintritt; in sauerstofffreiem Raume ist das konzentrierte Sonnenlicht ohne Wirkung. Bei Pilzen ist beobachtet worden, daß mit zunehmender Luftfeuchtigkeit auch die Atmung wächst, daß sie dagegen bei Mangel an Nahrung allmählich bis zu unbedeutender Größe herabsinkt. Es hat sich gezeigt, daß die Größe dieses Verhältnisses nach Entwicklungsperioden der Pflanze wechselt. So fällt während der Keimung der Wert des Bruches $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$ von 1 bis

zu einem je nach Spezies verschiedenen Minimum, um dann wieder auf ungefähr 1 zu steigen, z. B. bei Triticum von 1,05 auf 0,61, 0,86 und 0,97. Bei perennierenden Pflanzen entspricht das Verhältnis den Sommer über dem Maximalwert und fällt im Herbst und Winter auf ein Minimum, wobei Temperaturverschiedenheiten ohne Einfluß sind. Es ist begreiflich, daß diese Schwankungen mit den in der Pflanze stattfindenden Stoffumwandlungen zusammenhängen müssen, die ja sehr verschiedener Natur sein werden. Dies tritt ganz besonders bei der Keimung ölhaltiger Samen hervor. Bei diesen ist nämlich das Verhältnis $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$

besonders klein, d. h. es wird von dem aufgenommenen Sauerstoff mehr in der Pflanze zurückgehalten, als in der gebildeten Kohlensäure sich wiederfindet. Dies rührt einfach daher, daß bei der Keimung solcher Samen fettes Öl in Kohlenhydrate umgewandelt wird, was nur unter Vermehrung des Sauerstoffgehaltes möglich ist. Daher kann hier sogar eine Zunahme des Sauerstoffes bei der Keimung eintreten. Es werden hiernach folgende Zahlen über Verlust oder Gewinn an den betreffenden Stoffen, welchen 100 g Haarfamen bei der Keimung nach 7 Tagen erleiden, verständlich sein:

C	H	O	Trockengewicht	Fettgehalt
— 2,65 g	— 0,44 g	+ 0,23 g	— 3,03 %	— 15,56 %

Wärmebildung durch Atmung. Da die Respiration ein Oxydationsprozeß ist, so muß sie auch bei den Pflanzen mit Freiwerden von Wärme verbunden sein. Nun wirken aber die lebhafteste Transpiration wegen der damit verbundenen Wärmebindung, sowie die Ausstrahlung des Pflanzenkörpers abkühlend, so daß die an der Luft wachsenden Pflanzenteile oft etwas kühler als ihre Umgebung sind. Liegen aber dieselben in Menge beisammen, so wird die Selbsterwärmung nachweisbar. Was von der keimenden Gerste bei der Malzbereitung allbekannt ist, das zeigen auch andere keimende Samen und grüne Pflanzenteile, wenn man sie dicht aufeinander häuft. Gewisse große Blüten lassen schon ohne weiteres die Wärmebildung nachweisen; die Blütenkolben von *Colocasia odora* werden bisweisen um 22° C., diejenigen von *Arum maculatum* bis um 10° C., die männlichen Blüten des Kürbis um 4 bis 5° C. wärmer als die Umgebung. Daß die erzeugte Wärme von der Respiration herrührt, wird durch folgende Thatsachen bewiesen. In irrespirablen Gasen, wie Wasserstoff oder Kohlensäure, hört die Atmung, aber auch die Wärmebildung schnell auf. Mit dem Steigen und Fallen der Atmungsenergie läßt sich auch ein Steigen und Sinken der Erwärmung nachweisen. Die Aroideenkolben verlieren während der Wärmebildung in wenigen Stunden über 70 pCt. ihrer Trockensubstanz. Dabei bleibt der Stickstoffgehalt unverändert, aber die reichen Mengen von Stärkemehl und Zucker verschwinden, werden also veratmet.

Daß die Atmung kein einfacher Oxydationsprozeß ist, geht aus der Thatsache hervor, daß eine Entwicklung und Ausscheidung von Kohlensäure aus der Pflanze auch in sauerstofffreier Luft, wie Stickstoffgas, Wasserstoffgas u. oder im luftleeren Raume fort dauert, solange als hier die Pflanzenteile am Leben bleiben. Man hat dies die intramolekulare Atmung genannt, weil hierbei die ausgeatmete Kohlensäure nicht als Verbrennungsprodukt zu betrachten ist, sondern ganz aus Molekülen der organischen Substanz sich bildet. Bei dieser Abspaltung von Kohlensäure entstehen aber zugleich noch andere Produkte, die bei der Sauerstoffatmung nicht auftreten, und unter denen namentlich Alkohol zu nennen ist. Nachdem man zuerst an verschiedenen Früchten, wie Äpfeln, Birnen, Weintrauben u., im sauerstofffreien Raume, wo diese Teile wochenlang am Leben bleiben, eine ebenso lange Fortdauer von Kohlensäure-Ausatmung unter gleichzeitiger Alkoholbildung beobachtet hatte, ist die gleiche Erscheinung auch an vielen anderen Pflanzen nachgewiesen worden, wie an Keimpflanzen, Blättern, Blüten, Pilzen u. Somit ist die Alkoholbildung, die wir bei den Hefepilzen die Gärung nennen, mit unter diese allgemeine Erscheinung der Pflanzen zu rechnen, nur daß die Alkoholbildung bei der intramolekularen Atmung bei den meisten Pflanzen nicht so ausgiebig ist, als bei den Hefepilzen. Was die Mengenverhältnisse der Kohlensäure anlangt, die bei der intramolekularen Atmung gebildet werden, so zeigt sich in der ersten Zeit nach Sauerstoffausschluß meist kein Unterschied von der gewöhnlichen Atmung; alsdann aber nimmt die Kohlensäurebildung bei der

intramolekularen Atmung zunächst schnell ab und sinkt späterhin nur allmählicher. Auch besteht bei den einzelnen Pflanzenarten unter sich kein festes Verhältnis zwischen der Sauerstoffatmung und der intramolekularen: ist erstere = 1, so liegt letztere für Keimpflanzen zwischen 0,177 (Senf) und 1 (Ackerbohne), für junge Fichtenzweige bei 0,077, für Pilze zwischen 0,310 (Bierhefe) und 0,666 (*Cantharellus cibarius*). Die Pflanzenstoffe, welche hierbei konsumiert werden, sind je nach Spezies und Pflanzenteilen verschiedene, und darnach sind auch die entstehenden Produkte ungleich. An Früchten ist hierbei ein Verbrauch von Kohlenhydraten konstatiert worden. Bei den Hefepilzen liefert der Zucker, welcher vergoren wird, das Material für die Bildung der Kohlensäure und des Alkohols. Doch findet dabei keine glatte Zerspaltung des Zuckers in Kohlensäure und Alkohol statt, sondern es entstehen in geringer Menge zugleich auch noch andere Stoffe, besonders Glycerin und Bernsteinsäure. Pflanzen, welche Mannit enthalten und diesen bei der intramolekularen Atmung zu Kohlensäure und Alkohol vergären, scheiden neben Kohlensäure auch Wasserstoffgas aus. Mannit enthält nämlich relativ mehr Wasserstoff als die Kohlenhydrate, muß also, um in letztere übergehen zu können, Wasserstoff abgeben. Mannit ist besonders vielen Pilzen eigen, und es ist nachgewiesen, daß nur diejenigen Pilze, welche diese Verbindung enthalten, bei Sauerstoffmangel eine Wasserstoffentwicklung zeigen. Auch höhere Pflanzen, in denen Mannit vorkommt, wie die Blätter, Blüten und unreifen Früchte der Oliven, scheiden im sauerstofffreien Raume Wasserstoff aus.

Auch die intramolekulare Atmung dauert nur so lange, als der Pflanzenteil am Leben bleibt; und so lange als dieselbe fort dauert, vermag auch die Pflanze ihre Sauerstoffrespiration zu beginnen, wenn ihr dieses Gas wieder zugeführt wird; aber nach dem Erlöschen jener kann sie auch durch Zuleitung von Sauerstoff nicht zum Leben und zur Atmung zurückgebracht werden. Daher ist vielleicht die intramolekulare Atmung das Primäre und die Ursache der gewöhnlichen Sauerstoffatmung; es wird vielleicht erst durch diesen Prozeß in der Pflanze die Affinität zum freien Sauerstoff geschaffen und letzterer in den Stoffwechsel gezogen.

Alkoholgärung oder geistige Gärung, um welche es sich bekanntlich bei der Weinbereitung, bei der Bierbrauerei und bei der Branntweinbrennerei handelt, heißt die Umsetzung von Zucker in Alkohol und Kohlensäure. Die hierbei thätigen Pilze, welche die sogenannte Hefe bilden, gehören zu den Sproßpilzen, in die Gattung *Saccharomyces*. Wie schon bei der intramolekularen Atmung erwähnt, ist die Alkoholbildung bei Sauerstoffmangel eine im Pflanzenreiche weit verbreitete Erscheinung. Auch die meisten Pilze bilden bei Sauerstoffausschluß als Produkt intramolekularer Atmung Alkohol. Von diesen giebt es aber alle Übergänge zu den wirklich gärtüchtigen Pilzen, d. h. denjenigen, welche auch bei Gegenwart von Sauerstoff Alkoholgärung erregen. Die wirkungsfrühtigsten in dieser Beziehung sind eben die Sproßpilze; doch trifft dies auch

noch für einige andere Pilze zu, welche normalerweise als Schimmelpilze auf Mist und anderen Substraten, also nicht als Gärungsorganismen leben, indem sie wenn sie in Zuckerslösung untergetaucht werden, Alkoholgärung erregen, wobei sie sogar hefeartige Formen annehmen. Unter diesen ist *Mucor racemosus* am gärtüchtigsten, in geringerem Grade sind es *M. mucedo* und *stolonifer*. Es handelt sich also bei der Alkoholgärung um eine Fähigkeit, welche der Anlage nach in allen Pflanzen vorhanden und in dem Gärungsorganismus nur in weitgehender Weise ausgebildet ist, derart, daß hier die umsetzende Wirkung sich auch auf die in der umgebenden Flüssigkeit enthaltenen Stoffe erstreckt und daß Gegenwart von Sauerstoff diese Umsetzung nicht hemmt. Durch dieerspaltung des vergärbaren Materiales wird, wie es sonst überall durch die intramolekulare Atmung geschieht, so auch hier die zum Leben nötige Betriebskraft geliefert. Denn nur bei Gegenwart vergärbbarer Zuckerarten kommen die Hefepilze im sauerstofffreien Raume fort; sie bedürfen aber Sauerstoff, wenn ihnen nicht vergärbare Zuckerarten geboten sind.

Es sind nur bestimmte Zuckerarten, welche von den Alkoholgärungspilzen vergoren werden können. Die Sproßpilze versetzen hauptsächlich nur die der Traubenzuckergruppe angehörigen Zuckerarten, also Traubenzucker und Fruchtzucker, außerdem aber auch die Maltose in Gärung, während Rohrzucker und andere erst nach Umwandlung in Trauben- oder Fruchtzucker vergoren werden.

Zu den äußeren Bedingungen der geistigen Gärung gehört erstens eine gewisse Temperatur. Das Optimum scheint zwischen 25 und 30° C. zu liegen; mit steigender Temperatur wird zuerst die Gärthätigkeit, dann erst Wachstum und Vermehrung der Organismen gehemmt. — Auch die Anhäufung der Gärungsprodukte wirkt sistierend, wie sie auch die Entwicklung der Hefepilze ungünstig beeinflusst. Bei Steigerung der Tension der Kohlensäure auf 25 Atmosphären wird die Alkoholgärung verhindert. Wenn der Alkoholgehalt der Flüssigkeit auf 14 Gewichtsprozente gestiegen ist, so hört die Gärthätigkeit auf; bei dem minder gärtüchtigen *Mucor racemosus* ist diese Grenze schon bei 2,5 bis 5, bei *Mucor stolonifer* bei 1,3 pCt. erreicht. — Auch kleine Mengen Säure stören die Gärung, z. B. 0,4 pCt. Buttersäure oder 0,2 pCt. Schwefelsäure, während Milchsäure erst bei 3,5 pCt. hemmend wirkt.

Anderer Pilze erzeugen statt Alkohol ein anderes Gärungsprodukt, und so hat im allgemeinen jede Art von Gärung ihren spezifischen Gärungsorganismus. Die Milchsäuregärung, welche durch einen Spaltpilz, *Bacterium acidilactici* erregt wird, und z. B. in der sauren Milch, beim Sauerwerden von Speisen und Getränken eintritt, erzeugt aus verschiedenen Kohlenhydraten, wie Milchzucker und andern Zuckerarten oder aus Stärkemehl z. B. Milchzucker. Bei der Buttersäuregärung wird ebenfalls durch einen Spaltpilz, *Clostridium butyricum*, aus Zucker, Stärkemehl, Mannit oder aus Milchsäure Buttersäure gebildet. Essiggärung heißt die durch einen Spaltpilz, *Bacterium aceti*,

bewirkte Oxydation von Alkohol zu Essigsäure, bei der Essigfabrikation. Faulige Gärung oder Fäulnis ist die unter Entwicklung üblen Geruches eintretende Zersetzung stickstoffhaltiger organischer Verbindungen, wobei Kohlensäure, Kohlenwasserstoffe, Schwefelwasserstoff, auch Ammoniak und freier Stickstoff gebildet werden. Es sind verschiedene Pilze, welche je nach Substraten als Fäulniserreger funktionieren; auf festen Substraten die verschiedenen Schimmelpilze, wie *Penicillium glaucum*, *Mucor mucedo* &c., in Flüssigkeiten die Spaltpilze *Bacterium termo*, in Aufgüssen von Heu der Heupilz, *Bacillus subtilis*. Nitrifikation oder Salpetergärung nennen wir die Oxydation von Ammoniak zu Salpetersäure, die in jedem natürlichen Erdboden erfolgen kann und durch einen in den Erdböden verbreiteten Spaltpilz hervorgerufen wird. Dieser Prozeß erfolgt bei einer Temperatur von 12° lebhaft, erreicht bei 37° sein Maximum und findet bei 50° langsam, von 55° an gar nicht mehr statt. Auch ist Sauerstoffzutritt notwendig, weshalb für die Nitrifikation ein durchlässiger poröser Boden am günstigsten ist. Es giebt aber auch Spaltpilze, welche eine Denitrifikation, d. h. eine Reduktion von Nitraten bewirken, wobei die letzteren wieder zerstört, nämlich zu Ammoniak und freiem Stickstoff reduziert werden, wozu Sauerstoffausfluß oder mangelhafter Luftzutritt im Erdboden Bedingung ist. Farbstoffgärungen werden durch verschiedene Spaltpilze hervorgerufen. Es gehören dahin die Erscheinungen des Blauwerdens der Milch, der Rötungen von Brod, Mehl, Kartoffeln, Milch &c.

II. Teil.

Die physikalischen Lebenserscheinungen der Pflanzen.

I. Kapitel.

Wie die Pflanze wächst.

Wie man bei allen Lebenserscheinungen der Pflanze immer daran zu denken hat, daß der Pflanzenkörper in den mikroskopisch kleinen Elementarorganen, d. h. in den Zellen, aus denen er zusammengesetzt ist, arbeitet, so wird auch jegliches Wachsen der Pflanze durch die Zellen, aus denen sie besteht, vermittelt. Die Beobachtung lehrt uns in der That, daß alle organisierten Bestandteile der Zellen eines Wachstums fähig sind, wie dies aus dem Vergleiche verschiedener Alterszustände gleichartiger Zellen hervorgeht. Vor allen Dingen gilt dies von der Zellhaut; sie kann sowohl in der Richtung ihrer Fläche als auch in die Dicke wachsen. Durch das Flächenwachstum der Zellhaut nimmt die Zelle selbst an Umfang zu, durch das Dickenwachstum hingegen wird die Zellenmembran dicker, was besonders bei den dickwandigen Zellen der mechanischen Gewebe, also besonders des Holzes und Bastes der Fall ist. Auch die geformten Inhaltsbestandteile der Zellen zeigen ein gewisses Wachstum, wie dies besonders an den Stärkemehlkörnern (Fig. 32) zu beobachten ist. Die Vorstellung, die man sich auf Grund mikroskopischer Beobachtung von dem Wachstum dieser Bestandteile der Zellen zu machen hat, ist folgende. In der Richtung, in welcher das Wachsen dieser Teile stattfindet, müssen neue kleinste Teilchen (Micellen) von demselben Stoff, aus welchem jene bestehen, zwischen die vorhandenen eingeschaltet werden oder vielmehr zwischen denselben entstehen. Wir nehmen daher hier überall ein Wachstum durch Intussusception, also durch Zwischenlagerung neuer Micellen zwischen die vorhandenen an, was also ein anderer Wachstumsmodus ist als bei dem toten Krystall, dessen Wachstum durch Anlagerung neuer Teilchen von außen vor sich geht.

Die ganze Pflanze wächst nun aber nicht so wie das Tier, bei dem der ganze Körper in allen feinen Teilen und Gliedern gleichmäßig bis zu einer

gewissen Größe zunimmt, dann aber auch überall gleichzeitig das Wachstum einstellt. In der Zeit, wo eine Pflanze wächst, finden wir immer an ihrem Körper Teile, die schon erwachsen sind, also nicht mehr mitwachsen; es sind nur gewisse Stellen am Pflanzenkörper, an denen das Wachsen stattfindet. Dieselben werden im allgemeinen die Vegetationspunkte genannt und je nach ihrer Verteilung an der Pflanze mit besonderen Bezeichnungen belegt.

Fig. 40.

A. Spitze einer Maiswurzel mit dem Vegetationspunkte am unteren Ende und der darauffolgenden Wurzelhaube e.

B. Längsschnitt durch den Vegetationspunkt. Derselbe zeigt bis zur der Stelle mw das Meristem der Wurzel, bestehend aus kleinen, mit Protoplasma und Zellkern erfüllten Zellen, die weiter nach oben erst allmählich in die Dauergewebe übergehen, nämlich in die Epidermis e, die Rinde r, das Mark m und die Fibrovaskelstränge f. Mit der Wurzelspitze verwachsen ist das Meristem der Wurzelhaube mc, aus welchem die größeren Zellen der eigentlichen Wurzelhaube e abstammen.

(Nach Sachs.)

Wir reden von einem endständigen oder terminalen Vegetationspunkt oder wegen der Gestalt, die derselbe gewöhnlich hat, von einem Vegetationskegel, wenn der Pflanzenteil nur an seiner äußersten Spitze in die Länge wächst. In dieser Weise wachsen sämtliche Wurzeln und die allermeisten Stengel.

Fig. 41. Die wachsende Stengelspitze von *Phaseolus multiflorus*.

In 1 ist die ganze Stengelspitze schwach vergrößert; a ist der Vegetationspunkt des Stengels mit seinen Blattanlagen (Bj eine jüngere, Ba eine ältere Blattanlage, weiter unten folgen noch ältere und größere Blattanlagen); bei S die Vegetationspunkte der Seitenzweige, welche in den Achseln der Blattanlagen sich bilden. In 2 ist der Stengel-Vegetationspunkt stärker vergrößert, um zu zeigen, daß er noch aus lauter gleichförmigen Zellen zusammengesetzt ist, denn die verschiedenen Gewebe des fertigen Stengels (E Epidermis, R Rinde, G Gefäßbündel, M Mark in 1) treten erst in weiterer Entfernung vom Stengelscheitel auf; f₁, f₂ die ersten Anlagen der Blätter, v v diejenigen der Vegetationspunkte der Seitenzweige. Um zu zeigen, wie die Zellen des Stengels allmählich größer werden, sind von den drei Stellen a b und c der Figur 1 die daselbst liegenden Markzellen in 3, 4 und 5 bei gleicher Vergrößerung dargestellt; in 3 die Meristemzellen mit Proto- plasma reich erfüllt, in 4 im wachsenden Zustande mit transitorischer Stärkebildung, in 5 erwachsen, wo die Stärke wieder verschwunden ist.

(Frank u. Tschirch, Wandtafeln XIII.)

Was zunächst die Wurzeln anlangt, so verlängern dieselben sich dadurch, daß immer nur an ihrer äußersten Spitze neuer Zuwachs erfolgt; alte nach rückwärts von den Spitzen liegende Teile der Wurzel verlängern sich gar nicht mehr. Wenn man eine kräftige Wurzel einer Bohne oder Erbse frei wachsen läßt

Fig. 42. Wachstum des Getreidehalmes durch intercalare Vegetationspunkte.

A. Getreidehalm mit durchsichtig gedachten Blattscheiden; an den schwarz ausgeführten Punkten bei v oberhalb der Knoten die Vegetationspunkte am Grunde jedes Halmgliedes.

B. Ein Stück des Halmes an einem Knoten, der Länge nach halbiert und vergrößert dargestellt. Bei d ist die Grenze zweier Halmglieder, wo die Höhlung des Halmes einmal durch eine Scheidewand unterbrochen ist; hier sitzt auch die Blattscheide ss an, welche das nächste Halmglied umgiebt und bei k den Knoten bildet. Das in dieser Scheide eingeschlossene Halmglied hat an der Basis seinen Vegetationspunkt v in der hier weiß gehaltenen Partie; dieser ist es, durch welchen das Halmglied sich verlängert.

(Frank u. Tschirch, Wandtafeln XXIII.)

und auf ihr von der Spitze aus mit Farbe Querstriche aufgetragen hat, die alle 1 mm weit von einander entfernt stehen, so sind, nachdem die Wurzel etwa einen Tag lang weiter gewachsen ist, nur diejenigen Marken, welche in dem 3 bis 4 mm langen Stück an der Spitze gelegen hatten, auseinander gerückt (Fig. 44). Bei dünneren Wurzeln ist die wachsende Region der Spitze noch viel kürzer.

Auch viele Stengel, besonders die sehr lang werdenden, sind unten und in der Mitte bis hoch hinauf schon ganz erwachsen und mit völlig fertigen Blättern besetzt, während sie oben an ihrer Spitze noch fortwachsen, denn dort sind die Stengelglieder noch jung und ganz kurz und die daran sitzenden Blätter noch ganz klein und nahe beisammenstehend; sie bilden zusammen die sogenannte Gipfelknospe, in welcher das Längenwachstum eines solchen Stengels erfolgt (Fig. 41). Man betrachte z. B. den aufwachsenden Kartoffelstengel, den Hopfenstengel, die Stengeltriebe des Weinstockes und anderer Holzpflanzen.

Es giebt aber auch Pflanzenteile, bei welchen das Längenwachstum durch eine eingeschaltete intercalare oder basale Vegetationszone vermittelt wird. Hierher gehören erstens diejenigen Stengel, wo der Ort des Wachstums nicht an der Spitze liegen kann, weil dort schon früh, noch lange bevor der Stengel erwachsen ist, ein Blütenstand angelegt wird. Dann hat der Stengel einen Wachstumspunkt unter dem Blütenstande oder an seinem Grunde, oder, wenn er gegliedert ist, am Grunde jedes Gliedes einen solchen, so daß beim Längenwachstum die einzelnen Glieder sich auseinander schieben, wie z. B. bei dem wachsenden Getreidehalme (Fig. 42). Hier sind die zarten, über jedem Halmknoten liegenden Vegetationszonen des Halmes durch die Umhüllung mit den Scheiden geschützt. Auch Blätter, die zu beträchtlicher Länge heranwachsen, wie die des Rohrkolbens, der Vinzen, der Zwiebeln, auch die Nadeln, wachsen an ihrem untersten Grunde und schieben sich so gewissermaßen von unten aus hervor; ihre Spitze ist ihr ältester Teil.

Endlich zeigen gewisse Pflanzenteile auch ein andauerndes Dickenwachstum, wie es besonders an den Stämmen, Ästen und Wurzeln der Holzpflanzen, dergleichen bei manchen sehr dickwerdenden Wurzeln, wie bei den Rüben, zu beobachten ist. Hier ist die das Wachstum vermittelnde Partie ein im Innern der betreffenden Organe, im allgemeinen der Oberfläche ziemlich nahe liegender die Form eines in sich geschlossenen Cylindermantels besitzender Vegetationsring oder Verdickungsring, welcher speziell bei den Holzpflanzen unter dem gewöhnlichen Namen Kambiumring bekannt ist.

Jeder Vegetationspunkt ist charakterisiert dadurch, daß er aus lauter gleichartigen, eigentümlichen Zellen besteht, nämlich aus sogenanntem embryonalen Gewebe oder Teilungsgewebe (Meristem, Fig. 41). Es sind dies sehr kleine Zellen, die eine dünne Haut besitzen und nichts weiter als Protoplasma und einen Zellkern enthalten; alle diese Zellen zeichnen sich auch gleichmäßig durch eine lebhaft Vermehrung durch Teilung aus, und darauf beruht es eben, daß

an diesen Stellen Neubildungen erfolgen. Es werden also an den Vegetationspunkten die neuen Zellen gebildet, aus welchen der Pflanzenteil aufgebaut werden muß, oder mit anderen Worten: Die Zellen, welche den erwachsenen Pflanzenteil zusammensetzen, finden wir an den Vegetationspunkten noch in ihrem Jugendzustande. Denn wesentlich verschieden von dem embryonalen Gewebe erweist sich das Zellgewebe in den erwachsenen Partien des Pflanzenteiles. Hier sind aus jenem Gewebe sehr verschiedenartige, nun nicht weiter sich verändernde Gewebe geworden, die eben darum zusammen im Gegensatz zu dem embryonalen Gewebe als die Dauergewebe bezeichnet werden. Das erstere geht schrittweise in das letztere über, in dem Maße, als die Wachstumsthätigkeit vom Vegetationspunkte aus nach den älteren Teilen hin erlischt. Dieser Übergang vollzieht sich in der Weise, daß die Zellen des Meristems sich noch eine Zeit lang durch Wachstum bedeutend in die Länge strecken, wobei jedoch die Zellteilung durch Querswände, welche rechtwinkelig zu dieser Wachstumsrichtung stehen, allmählich nachläßt, so daß also nun sich immer längere Zellen ergeben (Fig. 41, 4 u. 5), bis die normale Zellengröße des betreffenden Pflanzenteiles und damit der Zustand des Dauergewebes erreicht ist. Wir erkennen hieraus, daß jegliches Wachstum der Pflanze auf Vermehrung und Vergrößerung der einzelnen Zellen beruht. Es folgen also bei jedem Längenwachstum von Wurzeln, Stengeln oder Blättern drei Phasen aufeinander: 1. der Zustand des embryonalen Wachstums, 2. der Zustand der Streckung, 3. der Zustand des Dauergewebes oder der erwachsene Zustand.

Die Vegetationspunkte und Vegetationsringe zeigen je nach den Organen, denen sie angehören, gewisse Eigentümlichkeiten. Der endständige Vegetationspunkt des Stengels, welcher, wie erwähnt, zwischen den jüngsten Blättern der Gipfelfnospe verborgen liegt, erscheint als eine kuppen- oder kegelförmige Endigung des Stengels, welche ganz und gar aus Meristem besteht und an deren Seiten wenig unterhalb des Scheitels bereits die ersten Anlagen der Blätter, die dieser Stengel tragen wird, sichtbar werden in Form kleiner Höcker, die ebenfalls ganz aus Meristem bestehen; weiter rückwärts folgen immer größere Anlagen, die mehr und mehr in deutliche junge Blätter übergehen (Fig. 41). Die Verzweigung der Stengel wird auch durch Vegetationspunkte vermittelt, die in der Achsel der Blätter an der Stengeloberfläche, also so wie die Blattanlagen sich bilden, wo sie schon sehr früh angelegt werden und sammt ihren ersten Blattbildungen die Achselknospen darstellen. Man nennt solche Organe, welche wie die Blätter und die Zweige an der Oberfläche des Mutterorganes angelegt werden, mit Rücksicht auf ihre Entstehung, *exogen*.

Der Vegetationspunkt der Wurzelspitze (Fig. 40) ist von der Wurzelhaube oder Wurzelmütze bedeckt, d. i. eine hautartige kleine Kappe, welche fest auf dem Vegetationspunkte aufgewachsen ist und augenscheinlich dem zarten Meristem einen Schutz gegen Druck und Verletzung gewährt. Sie besteht aus länglich runden Zellen, die etwas größer als die Meristemzellen sind und deren

Fig. 43. Dickenwachstum des Baumstammes.

A zeigt den Durchschnitt eines 2jährigen Lindenstammes, B denselben im 5. Jahre. In beiden liegt bei c der Kambiumring unter der Rinde; er erzeugt den Holzkörper h, welcher im 2jährigen Stamm nur aus 2, im 5jährigen aus 5 Jahrringen besteht. C ist ein Stück des Holzes stark vergrößert, es ist von Markstrahlen m durchzogen und zeigt bei f Gefäße; das übrige besteht aus den Holzzellen. Bei c liegt die Kambiumschicht, bestehend aus Meristemzellen, d. h. zartwandigen, nicht verholzten, protoplasmareichen, teilungsfähigen Zellen; r die angrenzende Partie der Rinde. In D sind in der Längsansicht die Kambiumzellen c c zu sehen, links neben ihnen bei h die aus ihnen entstandenen, nun bereits zum Holze gehörenden Holzzellen, als faserförmige, mit spizen Enden in einander greifende dickwandige Zellen. r die zur Rinde gehörigen Zellen.

äußere Membranschicht häufig eine Neigung zu schleimigem Aufquellen zeigt. Die nach außen liegenden ältesten Zellen der Wurzelhaube werden allmählich abgestoßen, während in demselben Maße von dem Meristem aus die Wurzelhaube durch neue Zellen immer wieder regeneriert wird (Fig. 40). Auch die Wurzeln verzweigen sich, indem an ihren Seiten, meist ziemlich weit rückwärts von der Wurzelspitze, neue Wurzelvegetationspunkte entstehen. Diese bilden sich aber im Innern des Wurzelskörpers und zwar aus dem Perikambium vor den Fibrovasalsträngen, so daß die Seitenwurzeln die Rinde der Hauptwurzel durchbrechen, um hervorzunwachsen. Sie heißen mit Rücksicht auf ihre Entstehung endogen. Auch wenn aus Stengelorganen, wie dies sehr häufig der Fall ist, Wurzeln entspringen, sind dieselben ihrer Anlage nach endogen.

Der das Dickerwerden der Pflanzenteile vermittelnde Verdickungsring, welcher bei den Holzpflanzen den Namen Kambiumring führt, ist eine ringförmige Zone von Meristem, welche zwischen Holz und Rinde liegt (Fig. 43). Von den neugebildeten Zellen desselben werden die nach innen zu abgechiedenen zu Elementen des Holzkörpers, die nach außen zu liegenden zu Zellen der Rinde ausgebildet; infolge dessen erfahren der Holzkörper durch Auflagerung neuer Schichten nach außen und in schwächerem Grade die Rinde durch Auflagerung neuen Gewebes von innen eine fortschreitende Verstärkung. Beim Holzkörper sind die durch die Wachstumsthätigkeit des Kambiums alljährlich gebildeten ringförmigen Zonen unter dem Namen Jahresringe bekannt. Die Zellteilung der Kambiumzellen erfolgt durch Längscheidewände, welche immer der Oberfläche des Stammes parallel stehen, wiederum nach dem Gesetze der rechtwinkligen Schneidung der Wachstumsrichtung. Es wird also immer in radialer Richtung die Zahl der Kambiumzellen vermehrt, und daraus folgt auch, daß die aus ihnen hervorgegangenen Holzzellen und Markstrahlzellen deutlich in radialer Richtung angeordnet sind, nämlich immer so laufen, daß sie den Kambiumring rechtwinklig schneiden.

Der Verlauf des Wachsens. Jeder Pflanzenteil beginnt also in der Jugend sein Wachstum und fährt damit fort bis zu einem gewissen Lebensalter, oder bis zu einer gewissen Jahreszeit, wo das Wachsen zeitweilig eingestellt wird. Hierbei müssen nun noch drei Dinge berücksichtigt werden: die Größe, die Geschwindigkeit und die Dauer des Wachstums.

1. Die Wachstumsgröße ist die ganze Dimensionszunahme, welche ein wachsender Pflanzenteil von dem Momente seiner Entstehung bis zum Abschlusse des Wachsens erfährt. Sie ist für jede Pflanzenspezies und auch für jedes Organ in gewissen Grenzen unabänderlich konstant, aber je nach Spezies und Organen sehr ungleich. Denn in ihrer ersten Anlage am Vegetationspunkte des Stengels sind z. B. die langen Blätter des Getreides und anderer langblättriger Pflanzen, selbst die mächtigen Blätter der Bananen, Palmen u. nicht sehr wesentlich an Größe verschieden von den Anlagen der Blätter sehr klein-

blättriger Pflanzen. Wie alle spezifischen Eigentümlichkeiten ist auch diese zunächst nicht weiter erklärbar. Doch werden wir unten sehen, daß durch Einwirkung äußerer Kräfte die Wachstumsgröße eines und desselben Organes bis zu gewissem Grade beeinflusst wird.

2. Die Wachstumsgeschwindigkeit wird gemessen durch die Größe, um welche ein wachsender Pflanzenteil während einer als Zeiteinheit angenommenen Dauer zunimmt. Wählt man dazu gleiche Zeiten, z. B. eine Stunde oder einen

Fig. 44. Das Wachsen der Wurzel.

Eine Erbsenwurzel, welche so wie in A mit schwarzen Querstrichen von 1 mm Entfernung markiert wird, zeigt, nachdem sie einige Zeit gewachsen ist, die Marken wie in B, zum Beweis, daß sie nur an ihrer Spitze wächst. Aus der ungleichen Geschwindigkeit, mit welcher die einzelnen hinter der Spitze liegenden Regionen gewachsen sind, läßt sich die daneben gezeichnete große Kurve des Wachstums konstruieren, wo die Zuwächse der einzelnen Abschnitte 1—5 in entsprechender Vergrößerung aufgetragen sind; die punktierte Linie giebt dann die Kurve.

Tag, so läßt sich die Wachstumsgeschwindigkeit der einzelnen Pflanzen und Pflanzenteile vergleichen. Mit Hilfe besonderer Apparate, sogenannter Auxanometer (Zeiger am Bogen, selbstschreibender Registrierapparat, Ablesemikroskop), kann man selbst geringe Wachstumszunahmen sichtbar und meßbar machen. Auch die Wachstumsgeschwindigkeit ist je nach Spezies und Pflanzenteilen überaus verschieden, wird aber durch äußere Kräfte bedeutend beeinflusst, so daß die Vergleichung der den einzelnen Pflanzen und Pflanzenteilen spezifisch eigenen Wachstumsgeschwindigkeit nur unter gleichen und konstanten äußeren Verhältnissen zulässig ist.

Beispiele besonders schnellen Wachstums zeigen z. B. die Stämme des Bambusrohrs, welche zur Zeit des stärksten Wachstums in 24 Stunden um 0,609—0,913 m sich verlängern, das Blatt von *Victoria regia*, welches in 24 Stunden 308,3 mm in die Länge, 367 mm in die Breite wächst, die Staub-

fäden des Weizens und Roggens, welche während des Hervorstreckens zwischen den Spelzen in circa $\frac{1}{2}$ Stunde von 2—3 mm auf 12—15 mm wachsen. Auch viele größere Pilze sind durch ein sehr rasches Wachstum ausgezeichnet; an den Stielen von *Coprinus* ist z. B. ein Wachstum um 13,5 mm pro Stunde gemessen worden. Ungewöhnlich langsames Wachstum haben die stein- und rindenbewohnenden Flechten, die vielfach in ein- oder mehrjährigen Fristen nur um wenige Millimeter zunehmen.

Die Geschwindigkeit des Wachstums ist vom Beginn bis zum Abschlusse desselben nicht gleichmäßig, wie sich namentlich bei solchen Pflanzenteilen zeigt, die in verhältnismäßig kurzer Zeit ihr Wachstum beendigen. Dasselbe beginnt langsam, beschleunigt sich dann mehr und mehr bis zu einem Maximum, und verlangsamt sich von da ab wieder allmählich bis zum Aufhören. Dieser Wechsel der Geschwindigkeit läßt sich durch eine Kurve darstellen, wie es das Bild Fig. 44 zeigt, welches die verschiedenen Wachstumsgeschwindigkeiten fixiert hat, die jedes Querstück einer Wurzel einmal durchläuft, und welches in ähnlicher Weise auch von den aufeinanderfolgenden Gliedern eines wachsenden Stengels, von Blättern u. s. f. gewinnen läßt. Bei Pflanzenteilen, deren Wachstumsdauer etwas länger ist, kann das Maximum einige Zeit andauern, wonach natürlich die Kurve jeweils eine andere Gestalt annimmt. Meistens fällt die größte Wachstumsgeschwindigkeit in die erste Hälfte der Wachstumsdauer, die Kurve steigt also steiler bis zum Maximum und fällt dann weniger steil ab, zuletzt immer flacher verlaufend. Man hat diesen charakteristischen Gang die große Kurve oder große Periode des Wachstums genannt. Innerhalb derselben treten allgemein fortwährende sehr kleine, nur mit feinen Instrumenten wahrnehmbare, stoßweise Änderungen der Geschwindigkeit ein, die aber auch von äußeren Einflüssen unabhängig sind und ebenfalls auf unbekannten inneren Ursachen beruhen.

3. Die Wachstumsdauer ist diejenige Zeit, welche vergeht von dem Beginne bis zum Ende des Wachstums eines Organes. Sie ist ebenfalls je nach Pflanzenarten und Pflanzenteilen sehr verschieden. Selbstverständlich ist sie bei kurzlebigen Pflanzen und Organen kurz; so kann sie bei rasch sich entwickelnden Pilzen, Blüten und Blütenständen in wenigen Stunden vollendet sein, während bei langlebigen Pflanzen gewisse Organe und Gewebe, wenn auch mit periodischen Unterbrechungen, während der ganzen Lebensdauer der Pflanze zu wachsen fortfahren, wie die Gipfelknospe des Hauptstammes vieler Koniferen und der Kambiumring aller Baumstämme.

In unserem Klima, wo die Vegetation eine winterliche Ruhe hat, zeigt die Wachstumsdauer, wenigstens bei den mehrjährigen Pflanzen, eine bestimmte Beziehung zu den Jahreszeiten, ohne daß sie etwa mit der Dauer günstiger Vegetationstemperatur zusammenfiel. Bei den Frühlingspflanzen ist das Austreiben auf wenige Wochen im Frühlinge beschränkt. Beim Aus schlagen der Bäume kommt das Wachsen des neuen beblätterten Triebes sehr bald wieder zum

Stillstand, indem der Vegetationspunkt seine Thätigkeit einstellt und sich als Knospe abschließt, die während des ganzen Sommers, Herbstes und Winters bis zum nächsten Frühjahr ruht; nur Wasserchosse, Stockausschläge und andere mit reicher Nahrung versorgte Baumtriebe wachsen wohl den ganzen Sommer lang fort. Das Dickenwachstum des Baumstammes, also die Bildung des Jahresringes des Holzkörpers beginnt mit der Belaubung im Frühjahr, schreitet aber auch nicht bis zum Beginn des Winters fort, sondern kommt gewöhnlich schon im August zum Abschluß. In den Baumwurzeln dagegen geht dieses Dickenwachstum, offenbar ermöglicht durch den Schutz des Erdbodens gegen die Winterkälte, viel länger fort; es erreicht bei der Eiche Ende Februar, bei der Esche im März, bei Apfel- und Kirschbaum im April seinen Abschluß, um schon im Mai oder Juni wieder zu erwachen. In ähnlicher Weise setzt sich auch das Längenwachstum der feinen Baumwurzeln bis in den Winter hinein fort.

Es geht daraus hervor, daß die einzelnen Teile perennirender Pflanzen unseres Klimas jedenfalls eine alljährliche Ruheperiode ihres Wachsens innehalten, die nicht mit dem eigentlichen Winter zusammenfällt. Darum kann dieselbe auch nicht die unmittelbare Folge des das Wachsen hemmenden Wärmemangels im Winter sein. Nur bei wenigen Pflanzen ist sie dies wirklich, wie bei *Bellis perennis*, welche zu jeder Zeit im Winter ihre Blütenhäute austreibt, sobald genügende Wärme herrscht. Aber bei den anderen perennirenden Pflanzen sehen wir die Winterruhe auch dann zu ihrer Zeit eintreten und andauern, wenn die äußeren Bedingungen für das Wachsen erfüllt sind. Unsere Holzpflanzen, sowie die Wurzelstöcke, Knollen und Zwiebeln krautartiger Pflanzen verbleiben in der Ruheperiode, auch wenn sie im Herbst denjenigen Temperaturen ausgesetzt sind, welche im Frühlinge das Wachstum anregen. Und umgekehrt belauben sich z. B. in Nizza, wo die dort einheimischen Bäume schon im Januar treiben, unsere dort eingeführten nordischen Bäume erst im April. Selbst nordische Getreidesorten behalten in wärmeren Klimaten ihre schnellere Entwicklungsdauer bei, während das Umgekehrte eintritt, wenn südliche Sorten in kälteres Klima kommen. Die jährliche Periodizität ist also bei diesen Pflanzen zu einer bis zu gewissem Grade von äußeren Einflüssen unabhängigen, der Pflanzennatur inhärenten Eigenschaft geworden. Eine nähere Erklärung dafür besitzen wir nicht. Aber es ist unverkennbar, daß diese Periodizität da, wo sie vorhanden, und so wie sie sich geregelt hat, mit dem Leben und den Bedürfnissen der Pflanze in vorteilhaftem Einklange steht. Eine gewisse Beeinflussung der Ruheperiode durch günstige Wachstumstemperaturen findet jedoch statt, wie die Thatsache des Frühtreibens beweist. Man kann dadurch nämlich die Ruheperiode zwar nicht aufheben, aber doch abkürzen. Weinstock, Kletter, Koffastanie, Obstbäume &c. treiben, wenn man sie oder Zweige von ihnen zur Winterzeit in ein Warmhaus bringt, oft schon zu Weihnachten; Hyazinthen, Tulpen, Maiblümchen &c. kann man ebenfalls schon im Winter zum treiben bringen.

2. Kapitel.

Wodurch das Wachsen beeinflusst wird.

Von großer Bedeutung für das Wachsen der Pflanzen sind gewisse äußere Umstände, indem sie durch ihre Änderung den Wachstumsprozeß und damit die ganze Entwicklung der Pflanze günstig oder ungünstig beeinflussen. Von den wichtigsten dieser Faktoren des Wachstums soll im Folgenden die Rede sein.

1. Die Temperatur beherrscht das Wachstum aller Pflanzen und aller einzelnen Pflanzenteile in ganz gleichsinniger Weise. Sowohl wenn es zu kühl als auch wenn es zu heiß ist, kommt das Wachsen zum Stillstand, und auch Samen können unter diesen Umständen nicht keimen. Man nennt diese genau festgestellten Temperaturgrade die untere und die obere Temperaturgrenze des Wachstums; es sind dies für die Pflanze noch keineswegs tödliche Temperaturen, sie hindern eben bloß das Wachsen. Innerhalb der beiden Grenzen sehen wir, daß das Wachstum bei Temperaturen in der Nähe der Grenzen am langsamsten, und immer schneller erfolgt, je weiter die Temperatur von denselben entfernt ist, so daß bei einem gewissen Wärmegrad, den man das Optimum nennt, die Pflanze am schnellsten wächst. Jedoch liegen diese Punkte für die einzelnen Pflanzenarten bei verschiedenen Thermometergraden, wie aus den im Folgenden ausgewählten Angaben hervorgeht.

	Untere Grenze ° C.	Optimum ° C.	Obere Grenze ° C.
<i>Sinapis alba</i>	0 ₀	27 ₄	über 37 ₂
<i>Lepidium sativum</i>	1 ₈	27 ₄	unter 37 ₂
<i>Hordeum vulgare</i>	5 ₀	28 ₇	37 ₇
<i>Triticum vulgare</i>	5 ₀	28 ₇	42 ₅
<i>Zea mais</i>	9 ₅	33 ₇	46 ₂
<i>Phaseolus multiflorus</i>	9 ₅	33 ₇	46 ₂
<i>Cucurbita pepo</i>	13 ₇	33 ₇	46 ₂
<i>Cucumis sativus</i>	18 ₅	33	über 44.

Bei den Pilzen besteht eine ähnliche Abhängigkeit des Wachsens von der Temperatur; mehrfach ist hier Keimung und Wachstum noch nahe über 0° gefunden worden; die obere Temperaturgrenze liegt für Hefepilze nahe bei + 38°, für *Aspergillus glaucus* bei 45°, für manche Bacillen sogar bei 47 bis 50° C.

Eine Vorstellung davon, wie mit der Temperaturerhöhung bis zum Optimum die Wachstumsgeschwindigkeit ansteigt und dann wieder sinkt, geben umstehende Zahlen, welche die Wachstumsgeschwindigkeit in Millimetern ausdrücken, welche an Maiswurzeln in 24 Stunden bei verschiedenen konstanten Temperaturen gemessen worden sind.

Temperatur	Wurzellänge
17,1° C.	1,3 mm
26,2 "	24,5 "
33,2 "	39,0 "
34 "	55,0 "
38,2 "	25,2 "
42,5 "	5,9 "

Zweitens wird auch die Wachstumsgröße durch die Temperatur beeinflusst, und zwar erweisen sich dabei jene das Wachsen am meisten beschleunigenden Grade nicht als die günstigsten, weil dabei das Wachsen einen abnormen Charakter annimmt. Während z. B. bei konstanter Temperatur von $+10^{\circ}$ C. das Getreide zwar langsam wächst, aber normal starke Wurzeln, kräftige dicke Halme, relativ kurze und breite Blätter bildet, werden bei Temperaturen, welche die größte Beschleunigung des Wachstums bedingen, die Wurzeln immer feiner, die Halme dünner und schwächer, die Blätter länger und schmaler; die ganze Pflanze bietet ein krankhaftes Bild.

2. Das Licht beeinflusst das Wachsen der einzelnen Pflanzenteile dagegen sehr ungleichartig. Für die Keimung der meisten Samen, für das Wachstum der Wurzeln und anderer unterirdischen Teile, für dasjenige der meisten Blüten und Früchte, sowie der Pilze ist es ganz oder fast ganz gleichgültig, ob die betreffenden Pflanzenteile sich im Lichte oder im Finstern befinden, wenn nur die Temperatur günstig und gleich ist. Die grünen Pflanzenteile werden aber in auffallender Weise in ihrem Wachstum durch das Licht beeinflusst. Erstens wird hier wiederum die Wachstumsgewindigkeit beeinflusst, und zwar in dem Sinne, daß das Licht verzögernd, die Dunkelheit beschleunigend auf das Wachsen einwirkt. Bei den meisten Pflanzen macht der Wechsel von Licht und Dunkelheit seinen Einfluß schon nach wenigen Stunden bemerkbar. Daraus erklärt sich auch die Tagesperiode der Wachstumsgewindigkeit, indem viele Stengel und Blätter im allgemeinen am Tage eine immer stärkere Verlangsamung, bei Nacht eine zunehmende Beschleunigung des Wachstums zeigen. Das tägliche Minimum wird daher meist erst gegen Abend, das nächtliche Maximum gegen oder erst am Morgen erreicht. An den Stengeln vieler Keimpflanzen, am Halm des Roggens, Stengel des Hanf läßt sich dies konstatieren. Es giebt aber auch Pflanzen, für welche die Dauer unserer Sommernacht zu kurz ist, um die nächtliche Beschleunigung zu veranlassen, denn z. B. Blätter und Schaft der Küchenzwiebel wachsen Tag und Nacht gleich schnell. Zweitens wird auch die Wachstumsgröße mit der Abnahme der Beleuchtung bei den grünen Stengeln und Blättern sehr auffallend verändert, und zwar in dem Sinne, daß sie mit abnehmender Helligkeit eine krankhaft veränderte Gestalt bekommen, was seinen stärksten Grad beim Wachsen im vollständigen Dunkel erreicht. Man nennt diese Krankheit, bei der zugleich infolge des Lichtmangels das Chlorophyll, also die grüne Farbe

sich nicht ausbildet (vergl. S. 125), Vergeilen, Etiolieren. Diese Veränderung des Wachstums besteht darin, daß, je mehr die Lichtabschwächung sich der Dunkelheit nähert, die mit Längenwachstum begabten Pflanzenteile, also die Stengel, die Blattstiele und langgestreckten Blattformen durch stärkere Streckung ihrer Zellen viel länger werden als im normalen Zustande, daß sie dagegen kein entsprechendes Wachstum in der Breite und Dicke zeigen, im Gegenteil ganz dünn und schwächlich bleiben und die Blattspreiten sich gar nicht in die Fläche ausdehnen, sondern fast so klein und zusammengefaltete bleiben, wie sie es in der Knospe waren. Von einem Mangel an Nährmaterial kann das Etiolieren nicht herrühren, weil auch aus Organen, die reich an solchem sind, wie aus keimenden Samen, Kartoffelknollen u., die Stengeltriebe sich im Dunkeln etioliert entwickeln. Auch die Blätter brauchen zu ihrem normalen Wachstum nicht das Stärkemehl, welches sie selbst erst im Lichte aus Kohlensäure bilden, denn sie erreichen ihre volle Größe im Lichte auch in kohlensäurefreier Luft. Es liegt also hier eine direkte Wirkung des Lichtes auf das Wachsen vor, die sich auch lokal an jedem verdunkelt bleibenden Teile einer im übrigen belichteten Pflanze einstellt. Eine Erklärung derselben haben wir nicht, wohl aber liegt darin eine vorteilhafte Anpassung der Pflanze, weil dadurch gerade diejenigen Teile, welche am Lichte sich befinden sollen, aus tiefer Verborgenheit sich hervorstrecken können und weil es eine nutzlose Vergeudung wäre, etwas auf die Ausbildung eines im Dunkeln bleibenden, also funktionsunfähigen Blattes zu verwenden. Sogar eine vollständige Verhinderung des Wachstums durch Lichtmangel finden wir bei den chlorophyllhaltigen Sporen und Brutknospen vieler Moose und Farnkräuter, welche im Dunkeln gar nicht keimen.

3. **Schwerkraft.** An manchen Pflanzenteilen zeigen sich, wenn dieselben nicht vertikal stehen, Ungleichheiten in der Wachstumsgröße zwischen den an der Ober- und Unterseite befindlichen sonst gleichmäßig wachsenden Geweben oder seitlichen Organen. Bei vielen Nadel- und Laubbäumen sind an solchen Zweigen, die an der Unterseite stehenden Blätter die größten, die an den beiden Seiten befindlichen um so kleiner, je näher sie der zenithwärts gekehrten Kante stehen, und an der letzteren am kleinsten, was sich sowohl in der Länge der Blattstiele, als auch in der Größe der Blattfläche ausdrückt (z. B. bei Weißtanne, bei Roßkastanie, Ahorn, Esche u.). Auch die Zweige, die an solchen Ästen entspringen, zeigen eine gleichförmige Abstufung ihrer Länge und Stärke je nach ihrem Ursprungsorte. Bei vielen Holzpflanzen wird auch das Dickenwachstum des Holzkörpers nicht vertikaler Äste und Wurzeln ungleichseitig; z. B. beim Wachholder und bei der Kiefer, so daß die Jahresringe an der untersten Seite am breitesten sind und nach oben zu immer schmaler werden, das Mark also excentrisch der oberen Seite näher liegt, dagegen bei Linde, Buche, Ulme umgekehrt, so daß die Jahresringe an der oberen Seite am breitesten sind. Man hat die erstere Wachstumsweise als Hyponastie, die letztere als Epinastie bezeichnet. Daß diese

Ungleichheiten des Wachstums durch die Wirkung der Schwerkraft hervorgebracht werden, wird dadurch bewiesen, daß dieselben an vertikal stehenden Organen nicht eintreten und daß sie beliebig herbeigeführt oder geändert werden können je nach der Stellung, in die man den betreffenden Pflanzenteil zum Horizonte bringt.

4. Der Wasser- und Nährstoffgehalt des Bodens äußert seinen Einfluß auf das Pflanzenwachstum in dem Sinne, daß je trockener und nährstoffärmer der Boden vom Beginn der Pflanzenentwicklung an ist, das Wachstum der ganzen Pflanze, insbesondere dasjenige aller oberirdischen Teile, immer mehr reduziert wird und daß auf äußerst trockenen Bodenstellen Pflanzen, welche z. B. sonst bis meterhoch werden, bis auf ein oder wenige Centimeter verzweigt erscheinen, womit also auch ein entsprechender Rückgang der Produktion im Zusammenhang steht. Solche Zwerge sind aber im Übrigen normal und gesund, bringen auch eine Anzahl guter Samen zur Reife; diese proportionale Verkleinerung des ganzen Körpers ist, weil damit auch die Bedürfnisse der Pflanze entsprechend geringer werden, für die Pflanzen das einzige Mittel, um unter solchen ungünstigen Verhältnissen ihr natürliches Lebensziel, welches in der Wiedererzeugung von Samen besteht, zu erreichen. Das Kurzbleiben der Stengel vieler Kräuter und besonders der Getreidehalme in trockenen Frühjahren fällt auch mit unter diesen Gesichtspunkt.

Daß allein die Abnahme der Bodenfeuchtigkeit diese Wirkung hervorbringt, und letztere sogar in allen Abstufungen mit jener Schritt hält, geht aus folgenden Bestimmungen hervor. Blätter der Gerste wurden in einem und demselben Boden bei einem

Wassergehalt von 60 pCt. der wasserhaltenden Kraft 182,2 mm lang, 9,4 mm breit,

"	"	40	"	"	"	"	166,27	"	"	9,1	"	"
"	"	20	"	"	"	"	138,7	"	"	6,87	"	"
"	"	10	"	"	"	"	93,7	"	"	5,6	"	"

Auch die Abnahme der Nährstoffe unter eine gewisse Grenze bewirkt Verzweigung, wie man an Pflanzen in Wasserkulturen beweisen kann, wenn zu letzteren Lösungen von Nährstoffen in äußerst geringer Konzentration verwendet werden. Im allgemeinen wachsen Pflanzen, die mit ihren Wurzeln in Nährstofflösungen stehen, am besten, wenn die letzteren eine Konzentration von 0,05 bis 0,2 pCt. haben; je mehr die Konzentration sinkt, desto mehr verzweigt die Pflanze. Aber umgekehrt bewirken auch höhere Konzentrationen, etwa bei Zunahme von 0,5 bis 2,0 pCt. wieder eine Verlangsamung des Wachstums, namentlich der Wurzeln.

3. Kapitel.

Welche Bewegungen kommen an den Pflanzenteilen durch Wachstum und Gewebespannungen zustande?

Die lebende Pflanze zeigt uns mancherlei regelmäßige Bewegungen ihrer einzelnen Glieder. Es sind dies meistens Krümmungen nach bestimmten Richtungen

hin, freilich meist so langsam, daß sie mit dem Auge nicht direkt verfolgt werden können. Sie bewirken aber, daß die einzelnen Pflanzenteile ganz bestimmte Stellungen innehalten; und genauere Überlegung und Nachforschung lehren uns, daß diese verschiedenen Richtungen der Pflanzenteile in wichtigen Beziehungen zu den Lebensbedürfnissen eines jeden der letzteren stehen.

Man kann die Bewegungen hinsichtlich ihrer Veranlassung im allgemeinen einteilen in 1) autonome oder spontane (freiwillige) Bewegungen und in 2) Reaktionsbewegungen oder Reizbewegungen im weiteren Sinne. Die ersteren sind solche, welche gewisse Pflanzenteile jedesmal in einem gewissen Lebensalter von selbst machen und wobei äußere Faktoren nicht beteiligt sind; zu letzteren aber gehören die vielen merkwürdigen Bewegungen, welche nur durch bestimmte fremde Kräfte, die wie ein Reiz auf die Pflanze wirken, hervorgerufen werden und meist als ein Hinwenden nach dem die Bewegung erzeugenden Reize oder als ein Fliehen desselben sich darstellen oder sonst eine bestimmte Richtung gegenüber der Reizquelle veranlassen. Die wichtigsten Bewegungen der lebenden Pflanze sind folgende:

1. Geotropismus (Erdkrümmung). Die lebenden Wurzeln krümmen sich immer mit ihrer wachsenden Spitze (S. 143) nach unten und erreichen dadurch ihre natürliche lotrecht abwärts gefehrte Richtung. Besonders an keimenden Samen, aber auch sonst an Wurzeln, die man aus ihrer natürlichen Richtung abgelenkt hat, kann man meist schon nach einem Tage die Abwärtskrümmung der Wurzelspitzen bemerken (Fig. 45 D). Eine entgegengesetzte Krümmung machen die Stengel und viele Blätter, wenn sie aus ihrer aufrechten Stellung gebracht worden sind; ihre wachsenden Teile krümmen sich dann so lange aufwärts, bis sie wieder lotrecht stehen (Fig. 45 A, B, C). Diese beiden entgegengesetzten Bewegungen unterscheiden wir als positiven und negativen Geotropismus. Sie werden allein durch die Schwerkraft veranlaßt; Licht und Dunkelheit, Boden und Luft haben auf sie gar keinen Einfluß; darum ist auch das Ziel der Bewegung, die lotrechte Stellung, allein durch die Richtung der Schwerkraftwirkung bestimmt. Auch ist festgestellt, daß diejenige Kraft, welche die Schwerkraft zu beeinflussen vermag, nämlich die Centrifugalkraft, auch die Richtungen von Stengel und Wurzel beeinflusst, denn wenn Samen auf einem fortwährend rasch rotierenden Rade keimen, so stellen sich Wurzeln und Stengel in die analogen Richtungen des Radius des Rades. Und wenn man die Schwerkraftwirkung ganz eliminiert, dadurch, daß man keimende Samen auf einem um seine Axe sich drehenden horizontalen Cylinder befestigt (Klinostat), so wachsen Stengel und Wurzel in jeder beliebigen Richtung, die sie von Anfang an hatten, gerade weiter, und machen keine Krümmungen.

Dieser Bewegungsfähigkeit verdanken die Pflanzen ihre natürliche Richtung; darum schlagen schon bei der Keimung Wurzelschen und Stengelschen mit Sicherheit ihre entgegengesetzten lotrechten Richtungen ein, gleichgiltig wie auch der Same im Boden liegen mag; darum wachsen auch Stengel und Baumstämme überall

Fig. 45. Geotropismus.

Die Pflanzenteile sind hier in der Form gezeichnet, welche sie durch ihre Bewegung erreichen; die punktierten Linien stellen sie in der ursprünglichen Lage, in welche sie versetzt worden waren, dar.

A—C negativ geotropische Bewegungen. A Stengel von *Vicia faba*, der in der Nähe des Gipfels in weitem Bogen sich aufwärts krümmt. B Halm des Getreides, welcher nur durch die knieförmigen Krümmungen der Knoten, C Zwiebelblätter, welche sich durch Krümmungen ihrer wachsenden Basalregion aufrichten.

D positiv geotropische Bewegungen der Wurzel und der Seitenwurzeln.

auf der Erde in der jedesmaligen Lotlinie, ganz gleichgültig, welche Neigung die Unterlage haben mag.

Da die geotropischen Bewegungen auf dem Wachsen beruhen, sind sie auch auf diejenigen Pflanzenteile, welche wachstumsfähig sind und auf die Periode des Wachstums beschränkt, wie aus dem Nachfolgenden sich ergeben wird, und deshalb unterbleiben auch die geotropischen Bewegungen, sobald die Bedingungen des Wachstums nicht erfüllt sind, z. B. bei sehr niedriger Temperatur. Da die wachsende Region der Wurzel nur wenige Millimeter bis hinter die Spitze reicht (Fig. 44), so ist auch an einer Wurzel, die man in andere Richtung verlegt hat, die geotropische Krümmung auf jenen Teil beschränkt; die ganze ältere Region der Wurzel bleibt starr. Die Krümmung erreicht einen Viertelkreisbogen, wenn die Wurzel horizontal, aber bis zu einem Halbkreis, wenn sie vertikal aufrechtgestellt worden war (Fig. 45 D). An welcher Stelle ein Stengel oder Blatt diese Krümmungen beschreibt, hängt wiederum ganz von der Verteilung der wachsenden Regionen ab. Bei allen Stengeln nämlich, welche an ihrer Spitze einen in Tätigkeit begriffenen Vegetationspunkt haben, befindet sich immer ein ziemlich langes Endstück des Stengels im Wachstum; daher krümmen sich dieselben in einem weiten über diese ganze Region sich erstreckenden Bogen aufwärts (Fig. 45 A). Stengel die an ihrer Spitze frühzeitig einen Blütenstand ausbilden und also von dieser Zeit an keinen terminalen Vegetationspunkt haben, wie z. B. die Halme des Getreides, zeigen an ihren intercalaren Vegetationspunkten (S. 146), d. h. an den Knoten, die geotropischen Bewegungen; während nämlich die Halmglieder völlig gerade bleiben, vermitteln die Knoten, gleichsam wie Gelenke, die Bewegung durch starkes Wachstum ihrer nach unten gekehrten Seite, wodurch sie knieförmige Biegungen nach oben machen und dadurch den Halm aufrichten (Fig. 45 B). Viele Blätter mit basalen Vegetationspunkten (S. 146), z. B. diejenigen der Zwiebel, gehen aus jeder von der Lotlinie abweichenden Stellung wieder in die vertikale über durch Krümmung ihrer untersten Basis, weil eben hier die Wachstumsfähigkeit auf diese Region beschränkt ist (Fig. 45 C).

Es giebt auch Pflanzenteile, welche durch die Schwerkraft zu einem Wachsen in der horizontalen Richtung gezwungen werden. Dahin gehören die Seitenwurzeln vieler Pflanzen, die ja von der Pfahlwurzel ausgehend, eine mehr horizontale Richtung nach der Seite hin im Boden einschlagen, ferner die Ausläufertriebe der Querc und ähnlicher Pflanzen, auch die Ausläufer der Kartoffelpflanze, an denen sich die Knollen bilden, die horizontalen Äste der Tanne u. Diese andere Art Geotropismus wird als Transversal- oder Diageotropismus bezeichnet.

2. Heliotropismus (Lichtkrümmung). Die grünen Stengel und Blätter lassen in ihren noch im Wachstum befindlichen Teilen deutlich eine Krümmung gegen das Licht hin eintreten, wenn das letztere nur von einer Seite her auf sie scheint, wie man an Pflanzen, die in Zimmern am Fenster sich befinden, und

auch im Freien besonders da sehen kann, wo Pflanzen dicht an Gebäuden oder von Baumkronen oder Buschwerk beschattet stehen. Für die grünen Pflanzenteile ist gerade diese Bewegung, welche als positiver Heliotropismus bezeichnet wird, vorteilhaft, weil sie dadurch die beste Beleuchtung auffuchen, welche für ihre Kohlensäure-Assimilation die günstigste ist (S. 63). Auf freiem Felde können natürlich solche einseitige Krümmungen der Stengel nicht eintreten, weil die Lichtstrahlen hier von allen Seiten auf Stengel und Blätter gleichmäßig einwirken.

Fig. 46. Bewegungen der Blätter durch Transversalheliotropismus.

Ein vertikal gehaltener, nur von der Seite her in der Richtung der Pfeile beleuchteter Stengel des Buchweizens. Man sieht vier Blätter an den vier verschiedenen Seiten des Stengels, jedes mit derjenigen Bewegungsform, die es an der betreffenden Stengelseite ausführen muß, um die Blattflächen mit der Oberseite gegen die Lichtquelle hinzuwenden. Die 4 Blätter standen, bevor die einseitige Beleuchtung eintrat, horizontal ausgebreitet.

Es gibt auch negativ heliotropische Pflanzenteile, d. h. solche, welche bei einseitiger Beleuchtung durch entsprechende Krümmungen das Licht fliehen; dahin gehören die meisten Wurzeln, wie man an Pflanzen sehen kann, die man an einem Zimmerfenster mit ihren Wurzeln in mit Wasser gefüllten, belichteten Glasgefäßen kultiviert. Auch die kletternden Stengel des Epheu und die Ranken des Weinstocks sind negativ heliotropisch, wodurch diese zum Anklammern bestimmten Organe nach der dunkleren Seite, die ihnen zum Ansetzen dient, hingelenkt werden.

Wie es nun einen Transversalgeotropismus gibt, so gibt es auch noch einen Transversal- oder Diaheliotropismus. Denn viele Pflanzenteile, besonders die flachen grünen Blätter, stellen sich mit ihrer Längsaxe nicht wie beim gewöhnlichen Heliotropismus parallel zu den Lichtstrahlen, sondern rechtwinklig dazu, so daß sie ihre Fläche denselben darbieten und zwar stets eine bestimmte Seite. Es bezieht sich dies aber nur auf bilateral gebaute Blätter, d. h. solche, bei denen beide Seiten einen verschiedenen

Bau zeigen; die Oberseite pflegt allein das chlorophyllführende Gewebe oder doch wenigstens die chlorophyllreichsten Zellen zu enthalten, die Unterseite ist ärmer an

Chlorophyll oder frei davon, besitzt aber oft andere Bildungen, die der Oberseite abgehen, wie z. B. Spaltöffnungen. Die natürliche fixe Lichtlage dieser Pflanzenteile ist nun regelmäßig so, daß die Oberseite der Lichtquelle zugewendet und so den Lichtstrahlen möglichst dargeboten wird. Die Bewegungen, welche diese Blätter ausführen, um in ihre transversalheliotropische Stellung zu gelangen, kann man sich am besten klar machen, wenn man dieselben an einem einseitig beleuchteten vertikalen Stengel (Fig. 46) oder an einem im Freien befindlichen horizontalen Zweige beobachtet. Bei den Blättern führen hauptsächlich die Stiele und zum Teil die Hauptrippen diese Bewegungen aus. Wird ein vertikal stehender Stengel, dessen Blätter bis dahin horizontale Richtung hatten, einseitig beleuchtet, so sehen wir dasjenige Blatt, welches jetzt mit der Spitze dem Lichte zugekehrt ist, die Oberseite seines Stieles und seiner Rippe konvex, dasjenige, welches die Basis dem Lichte zugehrt, die nämliche Seite der genannten Organe konkav krümmen, bis beide in der richtigen Lage zum Lichte sich befinden (Fig. 46). Die Bewegungen können dabei aber noch komplizierter werden, indem auch Torsionen des Stieles mit Hilfe leisten; dies tritt an den mit einer Seitenkante gegen die Lichtquelle schauenden Blättern ein, indem sich jedes mit der linken Flanke gegen das Licht gekehrte Blatt um einen Viertelskreisbogen links, jedes rechte ebensoviel rechts um seine Axe dreht (Fig. 46), wodurch auch hier auf dem kürzesten Wege die Blattoberseiten der Lichtquelle zugewendet werden. Von den einzelnen Strahlungsgattungen wirken die stark brechbaren, besonders die violetten, am energischsten, die minder brechbaren schwächer, die gelben gar nicht auf die heliotropischen Pflanzenteile.

3. Reizbewegungen im engeren Sinne sind solche, wo infolge von Berührung durch einen fremden Körper oder von Erschütterung ein Pflanzenteil sich krümmt. Jenes nennen wir Kontaktreize, letzteres Stoßreize.

Kontaktreize liegen namentlich den Bewegungen der Ranken zu Grunde. Diese fadenförmigen Teile der Blätter der sog. Kletterpflanzen (Erbse, Wicken, Weinstock u.) dienen diesen Gewächsen als Klammerorgane, indem sie sich fest um fremde Gegenstände herumwinden. Die Ranke wird zur Bewegung dadurch veranlaßt, daß sie von einem fremden festen Gegenstande dauernd berührt wird; dies wirkt als ein Reiz auf das Wachstum in dem Sinne, daß die berührte Seite schwächer wächst als die entgegengesetzte, wodurch notwendig eine den berührenden Körper umfassende Krümmung der Ranke erzeugt wird. Es vermögen aber nur Körper mit rauen Oberflächen, welche also einen diskontinuierlichen Druck ausüben, zu reizen; Wasser, Quecksilber, Gelatine also nicht, wohl aber z. B. ein Stück Holz. Auch bedarf es dazu einer Reibung; ein genau statischer Druck bringt keine Reizung hervor. Eine weitere Folge des stattgefundenen Reizes ist auch eine gewisse Erstarkung, welche die Ranke gewinnt, und eine fortzieherartige Einrollung des unteren frei gebliebenen Teiles derselben, wodurch die Pflanze näher an die Stütze herangezogen wird. Ranken dagegen, die nicht gefaßt haben, entwickeln sich nicht weiter, sterben zeitig ab, oder rollen sich endlich ganz spiralförmig zusammen.

Eine besondere Art von Kontaktreizen sind die chemischen Reize, indem hier eine bestimmte chemische Qualität des berührenden Körpers dazu gehört, um die Bewegung zu veranlassen. Solches zeigen gewisse insektenfressende Pflanzen, besonders *Drosera* und *Pinguicula*, deren Blätter drüsentragende Haare besitzen, welche, wenn Insekten mit ihnen in Berührung gekommen sind, nach kurzer Zeit gegen den berührenden Körper hin sich zusammenkrümmen und so denselben gefangen halten (S. 82). Es wirken außer Insektenleibern nur noch reizend alle Eiweißstoffe (Hühnereiweiß oder Fleischstückchen), ferner Ammoniaksalze und viele andere stickstoffhaltige Verbindungen, sowie auch Phosphate. Andere Körper bringen nur eine geringe, von selbst wieder zurückgehende Bewegung hervor.

Bewegungen durch Stoßreize zeigt im auffallendsten Grade die *Mimosa pudica*, eine Pflanze unserer Gewächshäuser, welche bei leisester Berührung schnell ihre Blätter senkt und die zahlreichen Blättchen jedes Blattes zusammenlegt. Schwächer und erst bei stärkerer Erschütterung tritt die Erscheinung bei den Blättern unserer *Robinia*- und *Oxalis*-Arten ein. Diese Bewegungen werden durch dieselben Organe vermittelt wie die sogleich zu besprechenden Schlafbewegungen dieser und anderer zusammengesetzter Blätter, nämlich durch die Gelenke der sich bewegenden Blättchen und beruhen ebenfalls auf den Turgoränderungen der Gewebe dieser Gelenke, und zwar nicht wie die analogen Schlafbewegungen durch Steigerung des Turgors, sondern umgekehrt durch Erschlaffung derjenigen Hälfte des Organes, welche bei der Bewegung sich verkürzt. Dieses Sinken des Turgors wird bedingt durch ein plötzliches Austreten von Wasser aus der reizbaren Gelenkhälfte, welches durch die Interzellulargänge, bisweilen auch durch die Gefäßbündel nach den benachbarten Teilen fortgeleitet wird und welches sogar in Form eines hervortretenden Wassertropfchens gesehen werden kann, wenn man in den Blattstiel einschneidet oder einsticht. Die Rückkehr in die nicht gereizte Stellung beruht dann darauf, daß das Wasser allmählich wieder in das erschlaffte Gewebe aufgenommen und so der frühere Turgor wieder hergestellt wird. Denn die reizbaren Pflanzenteile kehren, wenn der Reiz aufhört, nach und nach wieder in die anfängliche Stellung zurück und sind dann von neuem reizbar.

4. Die periodischen Bewegungen oder Schlafbewegungen. Die Blättchen vieler zusammengesetzter Blätter, besonders der Leguminosen, besitzen am Grunde sogenannte Gelenke, d. i. Stellen saftreichen Gewebes, welche durch abwechselnde Schwellung und Erschlaffung ihrer oberen und unteren Hälfte sich so ausdehnen und verkürzen, daß die Blättchen in abwechselnd auf- und niedergehende Bewegung kommen. Die Beweglichkeit der Gelenke wird durch den eigentümlichen Bau derselben erzielt. Während nämlich in dem übrigen Teile des Blattstiels die nicht dehnbaren Gefäßbündelstränge ungefähr in einem Kreise angeordnet sind, und also das saftige Markparenchym umgeben, treten in den Gelenken diese Stränge vielmehr in die sogenannte neutrale Ase des Gelenkes,

wo sie ihre Länge nicht zu ändern brauchen, wenn das letztere durch abwechselnde Verlängerung seiner oberen oder seiner unteren Seite sich ab- und aufwärts krümmt. Das ganze Gelenk besteht rings um den axilen Strang aus einem äußerst turgeszenzfähigen saftigen Parenchym, indem hier umgekehrt die Rinde auf Kosten des Markes stark entwickelt ist (Fig. 47). Die wechselnde Schwellung

Fig. 47.

A. Blatt von *Phaseolus vulgaris* mit den beweglichen Gelenken bei *a* am Grunde des Blattstieles und bei *a₁* am Grunde der Blättchen. Bei B ist das Hauptgelenk am Grunde des Blattstieles im Längsschnitt dargestellt. Die Gefäßbündel *f*, welche aus dem Stengel *ss* in das Blatt eintreten, ordnen sich im Gelenk *g* so, daß sie die Axt desselben einnehmen und der ganze übrige Teil aus turgescentem Parenchym besteht, treten aber beim Uebergang in den Blattstiel *pp* wieder auseinander, so daß das Parenchym in Mark *m* und Rinde *rr* geschieden wird.

und Erschlaffung der antagonistischen Gelenkhälften wird zeitlich durch den Wechsel von Licht und Dunkelheit geregelt, so daß die Blättchen am Abend in eine andere Stellung als am Tage übergehen; sie nähern sich dann nämlich einander und kommen in ungefähr senkrechte Lage, sei es, daß sie sich nach oben zusammenschlagen, wie beim Alee, oder nach unten, wie bei Robinia, bei Phaseolus, beim Sauerklee zc. Es ist erwiesen, daß die Blättchen in ihrer Nachtstellung mehr gegen Frosteinwirkung geschützt sind, als in der Tagstellung. Auch an

vielen Blüten sind periodische Bewegungen wahrzunehmen, indem die Blumenblätter zu gewissen Tagesstunden sich öffnen und schließen; dies fällt aber nicht bei allen Pflanzen mit dem Wechsel von Tag und Nacht zusammen; so öffnet der Flachs seine Blüten jeden Tag etwa 5 Uhr morgens und schließt sie schon um Mittag, *Lactuca sativa* blüht von morgens 7 bis vormittags 10 Uhr, der *Cactus grandiflorus* blüht sogar nur von abends bis Mitternacht. Bei den Blüten haben aber auch mehr oder weniger die Witterungsverhältnisse einen Einfluß, indem an regnerischen Tagen gewisse Pflanzen ihre Blüten garnicht öffnen. Man weiß, daß auch bei den Blüten der tägliche Beleuchtungswechsel diese Bewegung beeinflusst, daß aber mehr oder weniger auch die Temperatur für sich allein wirkt, indem z. B. bei den Tulpen Erwärmung das Öffnen, Abkühlung das Schließen der Blüte unabhängig von der Lichtwirkung hervorbringt. Für die Blüten haben diese Bewegungen insofern eine Bedeutung, als erstere im geschlossenen Zustande gegen äußere Beschädigungen mehr geschützt sind und als das Öffnen der Blüte nur den Zweck hat, den zur Befruchtung nötigen Insekten den Zugang zur Blüte zu gestatten, welche meist doch nur am Tage oder zu gewissen Tages- oder Abendstunden und nur bei günstigem Wetter fliegen.

5. *Nutationen*. Diesen Namen hat man zur Bezeichnung gewisser freiwilliger Bewegungen deshalb gewählt, weil dieselben sich einigermaßen mit dem Herabnicken eines Hauptes vergleichen lassen. Es sind die hakenförmigen Krümmungen, welche die Spitzen vieler wachsenden Stengel und viele Blätter in der Jugend zeigen. Sie beruhen darauf, daß in einer gewissen Strecke des wachsenden Organes das Wachsen an der einen Seite schneller als an der anderen erfolgt, bis späterhin wieder beide Seiten gleich schnell wachsen, so daß sich die Krümmung dann wieder ausgleicht, während an einer jüngeren Stelle des Sprosses die Krümmung immer neu sich bildet.

6. *Winden der Schlingpflanzen*. Diese Gewächse, zu denen der Hopfen, die Laufbohnen, die Winden gehören, haben einen Stengel, der so lang und dünn ist, daß er sich selbst nicht aufrecht halten könnte, der aber bedeutende Höhen dadurch erreicht, daß er in einer Schraubenlinie sich fest um Stützen, wie Stangen, dünne Baumstämme u. herumlegt. Diese Bewegung kommt während des Aufwachsens zustande und zwar hauptsächlich durch die starke *Nutation*, welche der Sproßgipfel ausführt. Man sieht denselben in weitem Bogen zur Seite übergeneigt, zugleich dreht sich diese überhängende Spitze fortwährend wie der Zeiger einer Uhr im Kreise herum, oft in einer oder in wenigen Stunden einen Umlauf vollendend. Dies kommt daher, weil die Ungleichheit des Wachstums, auf welcher die *Nutation* beruht, hier nicht zwischen ein und denselben Seiten sich beständig erhält, sondern fortwährend um die Peripherie des Stengels herumkreist. Man nennt diese Art *Nutation* die rotierende oder kreisende *Nutation* (*Circumnutation*). Auf diese Weise sucht und findet nicht nur der Stengel in seiner Nachbarschaft eine Stütze, sondern es wird, weil eben die

Rotation immer an der Spitze fortgeht, die Stütze, die sich ja als Widerstand entgegenstellt, wirklich unwunden, und zwar immer weiter so lange als der Stengel fortwächst. Die kreisende Rotation geht bei den meisten Stengeln links-um, darum sind solche auch immer links um die Stützen gewunden; beim Hopfen geschieht die erstere und darum auch das Winden ausnahmslos rechts-um. Nur senkrechte oder schiefe Stützen werden und zwar immer nach aufwärts unwunden; um horizontale kann sich kein Schlingstengel winden; dies hängt damit zusammen, daß zugleich der Geotropismus (S. 157) die Stengel nach aufwärts zu wachsen nötigt.

Die vorstehend beschriebenen verschiedenen Bewegungen kommen meist durch ein und dasselbe Mittel zustande, nämlich mit Hilfe des Wachstums, welches eben in jedem Falle diejenige Ungleichheit in seiner Geschwindigkeit an beiden gegenüberliegenden Seiten des Pflanzenteiles annimmt, welche die betreffende Krümmung zur Folge hat. Nur bei denjenigen Bewegungen, wo ein und derselbe Pflanzenteil während langer Zeit viele Male dieselben hin- und hergehenden Schwingungen machen muß, wie bei den Schlafbewegungen der grünen Blätter und bei den Reizbewegungen der Blätter der Mimosa und anderer reizbarer Pflanzen wird die Krümmung durch Gewebespannungen in den erwähnten Gelenken bedingt, deren Ober- und Unterhälften sich durch wechselndes Schwellen und Erschlaffen ausdehnen oder zusammenziehen. Gewebespannungen sind überhaupt in den meisten Pflanzenteilen vorhanden. Man spalte einen frischen Kartoffelstengel oder einen Rübenblattstiel der Länge nach; die Stücke klaffen sogleich auseinander, noch mehr, wenn man sie in Wasser legt. Die inneren Gewebe suchen sich also stärker auszudehnen als die oberflächlichen; in ihrem ungelösten Verbande erhalten sie sich mithin in Spannung. Jenes Ausdehnungsbestreben ist bedingt durch das, was man die Schwellung oder den Turgor der lebenden Zelle nennt. Die den Saft Raum (S. 2 u. 17) ausfüllende Flüssigkeit wirkt anziehend auf Wasser, welches der Zelle von außen zugeführt wird, die Folge ist eine Vergrößerung ihres Volumens, und diese wirkt auf den den Saft Raum einschließenden Protoplasma-Mantel und auf die dem letzteren auswendig anliegende Zellhaut, welche der Filtration des Zellsaftes nach außen Widerstand entgegensetzt, als ein Druck, wodurch eben der schwellende Zustand der Zelle bedingt wird. Dieser Turgor kann nun eben gerade bei jenen Gelenken auf freilich noch nicht näher bekannte Weise durch äußere Einwirkungen derart geändert werden, daß die erwähnten Schlaf- und Reizbewegungen zustande kommen.

4. Kapitel.

Wie die Pflanze ihre Festigkeit gewinnt.

Der Pflanzenkörper muß mancherlei mechanischen Kräften Widerstand leisten können. Die Stengel und namentlich die Baumstämme bedürfen, um ihre eigene Last zu tragen ohne zu knicken, einer Knickfestigkeit, d. h. sie müssen gegen eine

in der Längsachse des Körpers drückende Kraft Widerstand leisten. Dieselben Teile, desgleichen Zweige und die Blattstiele müssen auch gegen Zerbrechen durch eine auf die Längsachse des Körpers senkrecht wirkende Kraft, wie sie in dem Gewicht der an diesen Teilen sitzenden Organe und in den durch den Sturm bewirkten Biegungen gegeben ist, geschützt sein, d. h. sie bedürfen einer sogenannten relativen oder Biegefestigkeit. Alle dümmern in der Luft wachsenden Organe, wie Stengel, Blattstiele und Blätter, müssen auch gegen Zerreißen durch eine auf sie in der Richtung ihrer Längsachse wirkende Zugkraft, die z. B. bei den Zerrungen durch Sturm entsteht, gefestigt sein: absolute oder Zugfestigkeit. Einige Pflanzenteile, wie Nüsse und Kerne, heissen einen auffallenden Widerstand gegen Zerdrücken durch eine gegen sie selbst wirkende Kraft: rückwirkende oder Druckfestigkeit.

Die Pflanze hat besondere Gewebe, welche ihr diese Widerstandsfähigkeiten erteilen. Dies erklärt sich aus der besonderen Beschaffenheit der Zellen, aus denen diese sogenannten mechanischen Gewebe aufgebaut sind. Sie zeigen alle das Gemeinsame, daß ihre Membranen außerordentlich verdickt sind, nicht selten so stark, daß der Innenraum der Zelle dadurch ganz oder fast ganz verschwindet und die Zelle zu einem anderen als zu diesem mechanischen Zwecke gar nicht taugen würde. Die mechanischen Gewebe sind daher den Knochen des Tierkörpers vergleichbar: wie von diesen die weichen Körperteile gehalten werden, so bilden auch sie das feste Gerüst, an welches die zu anderen physiologischen Zwecken dienenden zarteren Gewebe sich ansetzen.

Wo es gilt ein Gewebe druckfest zu machen, wie bei den Schalen der nussartigen Früchte, bei den Kernen des Steinobstes, bei der Borke der Bäume, da sind die Zellen von ungefähr isodiametrischer Gestalt, aber fest und lückenlos mit einander verwachsen und in den Membranen meist in hohem Grade verdickt, gewöhnlich zugleich verholzt oder verkornt und meist auch durch Mischenbestandteile stark inkrustiert, wodurch ihr größerer Härtegrad bedingt wird.

Bei Pflanzenteilen, welche knick-, zug- und biegeunfest sein müssen, sind die mechanisch wirksamen Zellen nicht bloß durch ihre stark verdickten Membranen, sondern auch durch ihre Gestalt ihrem Zweck entsprechend organisiert, indem sie die Form langgestreckter Fasern besitzen, welche mit verzüngten Enden in einander greifend in dichtem Verbande unter sich stehen und fest mit einander verkittet sind. Diese faserförmigen Zellen sind dann stets in der Längenrichtung des Pflanzenteiles angeordnet (Fig. 43, D u. 50, 3). In der Pflanzenanatomie nennt man alle solche faserförmigen mit spitzen Enden zwischen einander geschobenen Zellen Prosenchymzellen zum Unterschied von den übrigen meist kurzen, mehr isodiametrischen, weiten und meist dünnwandigen Zellen, welche also leicht zerreißen und nicht der Festigung dienen, und die man Parenchymzellen nennt. In der Verteilung der festigenden Gewebe in der Pflanze bestehen nach mechanischen Prinzipien zweckmäßige Anordnungen. Es sind verschiedenartige, in der Pflanzenanatomie mit bestimmten Namen bezeichnete Gewebe, welche diese Rolle spielen.

Bei den dikotylen Holzpflanzen werden die Stämme und deren Äste und Zweige durch den Holzkörper knick- und biegungsfest. Die Grundmasse des Holzes der Laubbäume ist ein Gewebe aus dickwandigen, fest verkitteten Prosenchymzellen (Holzzellen oder Libriformzellen), in welchem allerdings auch noch anderen Zwecken dienende Organe eingelagert sind, wie die zur Wasserleitung bestimmten Tracheen oder Tracheiden und die zur Speicherung von Stoffen dienenden Holzparenchym- und Markstrahlzellen. Das Holz der Nadelbäume ist homogen, es besteht nur aus prosenchymatischen Tracheiden, welche hier sowohl der Wasserleitung als auch vermöge ihrer genügend dicken Membranen zugleich der Festigung dienen. Auch der ganze Aufbau des Holzkörpers der Bäume ist in erster Linie auf den Zweck der Festigkeit berechnet. Derselbe bildet nämlich einen, den größten Teil des Stammes ausmachenden centralen Cylinder, um welchen sich die weichere Rinde als eine verhältnismäßig dünne Schicht ansetzt. Dem mit zunehmendem Alter des Stammes und der Äste wachsenden Bedürfnis nach Tragfähigkeit wird dadurch genügt, daß der Holzkörper dieser Teile alljährlich um eine neue an seiner Peripherie hinzuwachsende Zone von Holz, den sogenannten Jahresring, sich verdickt, was wir oben S. 149 beim Dickenwachstum kennen gelernt haben.

Bei den Stengeln der nicht zu den Holzpflanzen gehörigen Gewächse, welche dünner bleiben und nur eine einzige Vegetationsperiode zu dauern haben, aber doch auch widerstandsfähig sein müssen, pflegt die Zug- und besonders die Biegungsfestigkeit durch Anordnung der mechanischen Zellen in Form eines Hohlcyinders erreicht zu werden, gemäß dem mechanischen Principe, daß ein hohles Rohr erst bei höherer Belastung zerbricht als ein massiver Stab von gleichem Durchmesser. Was zunächst die dikotylen Krautpflanzen anlangt, so benutzen viele dazu wieder hauptsächlich ihren Holzkörper; indem nämlich hier die Fibrovasalstränge meist in einem um ein sehr geräumiges und oft hohles Mark weit gegen die Peripherie zu liegenden Kreise stehen, schließen sich die Holzkörper der einzelnen Stränge zu einem festen Hohlcyylinder zusammen. Oft tritt hier noch ein zweites Zellgewebe auf, welches in demselben Sinne wirkt und namentlich eine außerordentliche Zugfestigkeit besitzt, die Bastfasern oder Sclerenchymzellen. Es stehen dann nämlich ein Stück außerhalb des Holzringes, also nahe unter der Oberfläche des Stengels, nur durch eine dünne Lage grünen Rindenparenchyms davon getrennt, Gruppen dieser langen und ebenfalls mit spitzen Enden zwischen einander geschobenen, fest verkitteten Zellen mit meist außerordentlich stark verdickten Membranen. Bei vielen Pflanzen treten diese Bastbündel sehr gegen das Holz zurück; bei *Helianthus* z. B. sind sie so klein, daß der Holzkörper so gut wie allein den Festigungscylinder bildet (Fig. 48). Im Flachstengel dagegen bilden sie einen kontinuierlichen starken Ring, der an Dicke dem Holzring fast gleichkommt (Fig. 49). Unmittelbar unter der Epidermis erzeugen manche dikotylen Stengel aus Rindenzellen mechanisch wirkende Elemente in Form von Collenchym. Die Zellen desselben haben die Form lang-

gestreckter mehrseitiger Prismen mit horizontalen oder schiefen Endflächen und stehen ebenfalls in lückenlosem Verbande unter einander. Mit den übrigen Rindenzellen stimmen sie darin überein, daß sie einen weiten mit Protoplasma und

Fig. 48. Festigung des Krautstengels vorwiegend durch den Holzring allein. Ein Stengel der Sonnenblume im Querschnitt, zeigt rings um das großzellige Mark den geschlossenen Holzring *h*, welcher aus engen Holzzellen mit vereinzelten weiten Gefäßen besteht. Die im Umkreise des Holzringes liegenden Bastbündel *b b b* treten hier sehr zurück und sind an der Festigung kaum beteiligt. Im übrigen besteht die zwischen dem Holze und der Oberhaut liegende Rinde nur aus dünnwandigen Zellen. Schwach vergrößert. (Frank u. Tschirch, Wandtafeln XIX.)

Chlorophyllkörnern und Zellsaft versehenen Innenraum besitzen, aber ihre Membranen zeigen längs den Ranten eine starke Verdickung, während sie auf der ganzen Mitte der mit ihren Nachbarzellen in Berührung stehenden Seitenflächen und auf den Endflächen so dünn wie die übrigen Rindenzellen sind. Etwas

Collenchym umgiebt häufig in einem geschlossenen Mantel die innere Rinde; viel kräftiger aber ist es da konstruiert, wo es in isolierten Bündeln auftritt, aus denen besonders die vorspringenden Rippen gefurchter Stengel bestehen, wie bei den Umbelliferen.

Fig. 49. Festigung des Krautstengels durch den Holzring und den Bastring. Ein Flachstengel im Querschnitt; er erlangt seine Festigung nicht bloß durch einen geschlossenen Holzring *h*, sondern auch durch einen in der Rinde liegenden sehr kräftig entwickelten Ring von Bastfasern *b*. Schwach vergrößert.

(Frank u. Tschirch, Wandtafeln XXII.)

In den Stengeln der Monokotylen, besonders in den Halmen des Getreides kommt die Konstruktion eines Hohlzylinders aus Festigungsgewebe auf andere Weise zu stande, nämlich nicht mit Hilfe der Fibrovasalstränge, weil diese hier nicht in einem Kreise, sondern in zerstreuter Stellung den Halm durchziehen. Hier liegt unmittelbar unter der Epidermis eine besondere ringförmige Zone, die aus engen, dickwandigen Bast- oder Sclerenchymfasern besteht. Wenn solche Stengel zugleich grünes Rindengewebe besitzen, so bildet dieses nur einzelne

Fig. 50. Festigung des Getreidehalmes.

1. Roggenhalm im Querschnitte: im Innern die weite Markhöhle. Der in der Nähe der Oberhaut liegende dunkel gehaltene Festigungsring *b* besteht aus Bastfasern. Zwischen ihm und der Oberhaut liegt das aus grünen Zellen bestehende Assimilationsgewebe *ch*.
 2. Ein Stück von Fig. 1 vergrößert dargestellt, um die sehr dickwandigen engen Zellen der Bastfaserstränge *b* zu zeigen. *ch* das dem Bastfaserring außen vorgelagerte grüne Assimilationsgewebe, welches ebenso dünnwandige Zellen besitzt, wie das großzellige farblose Markgewebe *p*. An den mit *f* bezeichneten Punkten sieht man verschieden starke Fibrovasalstränge, welche ebenfalls durch einen Belag von Bastfasern gefestigt sind. *e* die Oberhaut.

3. Ein Bündel der Bastfasern (a) in der Längsansicht, oben quer durchschnitten, rechts grenzen einige der weiten dünnwandigen Markzellen an. Man sieht, daß die Fasern langgestreckte Zellen sind, welche mit spitzem Ende zwischen einander geschoben und fest verfittert sind. Bei b ein Stück Bastfaser stärker vergrößert, um die dicke Membran mit schiefen spaltenförmigen Tüpfeln zu zeigen.

(Frank u. Tschirch, Wandtafeln III.)

Streifen, welche entweder in Durchbrechungen des Sclerenchymrohres oder in feichten Furchen, die das letztere an der Außenseite zeigt, sich befinden, so daß der Festigungskörper doch auch hier im ganzen nach dem Principe des gerippten Hohlzylinders konstruiert ist (Fig. 50).

Die Blattstiele, Blattrippen und sonstige lange Blattgebilde sind in der Regel durch peripherisch angeordnete Bündel von Bastfasern oder Collenchym gefestigt.

Bei Pflanzenteilen, welche in der Erde oder im Wasser wachsen, wird eigentlich nur Zugfestigkeit in Anspruch genommen. Darum haben in den Stengeln der Wasserpflanzen, in Wurzeln und unterirdischen Stöcken die festigenden Elemente, d. h. die Fibrovasalstränge meist eine centrale Stellung, gemäß dem Principe, daß wo es nur auf Zugfestigkeit ankommt, nicht die Form, sondern nur die Größe der Querschnittsfläche entscheidend ist.

Es kommt auch vor, daß von zwei mit einander verbundenen Pflanzenteilen der eine als festigender Schutz für den anderen dient. So bei den Halmen des Getreides und anderer Gramineen, wo die Blattscheide dem von ihr umgebenen Halmgliede diesen Dienst leistet. Dieselbe, am Knoten des Halmes angewachsen, umgiebt das über dem Knoten stehende Stück des Halmgliedes bis zu beträchtlicher Länge. Jedes Halmglied hat aber unmittelbar über dem Knoten eine auf lange Zeit thätige Wachstumszone (S. 146), und diese Stelle besteht daher aus zarten, in Vermehrung und Wachstum begriffenen Zellen, ohne ausgebildete mechanische Elemente. Schneidet man die Blattscheide am Knoten fort, so knickt fast von selbst der Halm an der darüber befindlichen weichen Stelle um, eben weil ohne die denselben festhaltende Scheide, welche kräftig mit mechanisch wirksamen Zellen ausgestattet ist, kein Halt mehr vorhanden ist.

Endlich können auch bloß einzelne Gewebe, die im Innern des Pflanzenkörpers liegen und von besonderer Zartheit sind, durch Umscheidung oder Wechselagerung mit mechanischen Zellen einen Schutz vor Zerreißung oder Druck erhalten. So ist jeder der dünnen Fibrovasalstränge, welche zahlreich den Maisstengel durchziehen, von einer Scheide von Sclerenchymfasern eingeschlossen. Und in den Stengeln der dikotylen Kräuter und in den Stämmen und Ästen der Holzgewächse dienen die vorher erwähnten Bastfasern auch zum Schutze des zarteren Phloems oder Weichbautes, dem sie gewöhnlich auswendig vorgelegt oder mit welchem sie abwechselnd in konzentrischen Schichten gelagert sind.

Nähere Prüfung hat ergeben, daß die mechanisch wirkenden Zellen, besonders die Bastfasern, gewisse physikalische Eigenschaften besitzen, durch welche sie für ihren Dienst besonders tauglich erscheinen. Sie haben erstens eine gewisse Dehnbarkeit, die z. B. bei den Sklerenchymfasern bis zur Erreichung der Elastizitätsgrenze zwischen 0,44—1,5 pCt. schwankt. Ferner ist bei diesen Zellen das Festigkeitsmodul, d. h. die Zugkraft, bei welcher der Körper infolge von Dehnung zerreißt, sehr hoch, und dasselbe fällt auch meist mit dem Tragmodul, d. h. der Zugkraft, welche den Körper bis zur Elastizitätsgrenze auszu dehnen vermag, nahezu zusammen; es beträgt z. B. bei den Sklerenchymfasern pro Quadratmillimeter 15—20, in einigen Fällen selbst 25 Kilo.

Die normale Ausbildung der mechanisch wirkenden Zellen in den oberirdischen Organen ist von gewissen äußeren Kräften abhängig, am auffallendsten von der Einwirkung des Lichtes, indem dieselbe bei hellster Beleuchtung am vollkommensten, mit abnehmender Helligkeit des Standortes der Pflanze immer mangelhafter, in vollständiger Dunkelheit am schwächsten erscheint. Wir bemerken nämlich hierbei einen immer schwächeren Grad der Wandverdickungen der Sklerenchymfasern, des Collenchyms und der Holzzellen und auch eine geringere Anzahl der Zellen, aus denen die mechanisch wirkenden Gewebekomplexe bestehen. Daher rührt die ebenso schrittweise abnehmende Festigkeit der Pflanzestengel, in je schwächerer Beleuchtung sie erwachsen sind; an den im Schatten oder in Wohnräumen wachsenden Pflanzen gegenüber den im freien offenen Felde stehenden ist dies überaus auffallend, und die ganz im Dunkeln gewachsenen Stengel zeigen, abgesehen von ihrem abnormen Wachstum, von welchem oben S. 155 die Rede war, durch ihre ungewöhnliche Schlaffheit, daß ihre Festigungsgewebe sehr mangelhaft ausgebildet sind. Auch das Lagern des Getreides erklärt sich auf diese Weise; es rührt her von einer ungenügenden Festigkeit der unteren Stängelglieder infolge zu starker Beschattung derselben. Darum tritt das Lagern nur bei geschlossenem Stande, nicht an einzeln frei wachsenden Getreidehalmen ein und auch nicht bei dünnstehendem Getreide, sondern nur bei dichtem Stande (weniger bei breitwürfiger Saat, als bei dichter Drillsaat); darum endlich zeigt es sich auch am meisten bei üppig wachsenden Getreidearten und -sorten, deren breite Blätter viel Schatten nach unten werfen, am häufigsten daher beim Weizen.

III. Teil.

Die Vermehrung der Pflanzen.

Alle lebendigen Wesen vermögen neue Individuen der gleichen Art zu erzeugen; es wird dadurch dem Aussterben der Lebewelt auf der Erde vorgebeugt. Eine andere Entstehung lebender Wesen als diejenige, wobei schon vorhandene Individuen der gleichen Art die Erzeuger sind, kann gegenwärtig nicht angenommen werden; die sogenannte Urzeugung, spontane oder elternlose Zeugung, welche manche Naturforscher wenigstens für die niedrigsten der jetzt existierenden Organismen anerkannten, ist bis jetzt nicht bewiesen.

Nach der Art, wie die Pflanzen neue Individuen zustande bringen, unterscheiden wir zwei Arten der Vermehrung: eine solche auf vegetativem Wege und eine solche, wo durch besondere Fortpflanzungsorgane auf dem Wege geschlechtlicher Zeugung neue Keime in Gestalt von Samen gebildet werden.

I. Die vegetative Vermehrung.

Bei den meisten Pflanzen können aus gewissen Gliedern, die sich von dem fertig entwickelten Pflanzenkörper ablösen, wieder neue vollständige Individuen werden. Die Pflanze ist mit ihren einzelnen Gliedern kein so streng centralisierter Organismus, wie der tierische Körper, von welchem kein Glied ohne das Ganze lebensfähig ist. Die einzelnen Sprossen und Blätter sind bis zu gewissem Grade selbständigen Lebens fähig. Schon bei den niedrigsten einzelligen Kryptogamen ist eine sehr ausgiebige vegetative Vermehrung zu finden, die hier einfach in der Vermehrung der einzigen Zelle durch Teilung oder Sprossung besteht, wie es bei den Hefezellen, den Bakterien u. geschieht. Bei denjenigen Pilzen, welche ein aus vielen Fäden bestehendes Mycelium besitzen, wird durch Zerteilung des letzteren Vermehrung herbeigeführt, wie z. B. beim Champignon durch Erdstücke aus solchem Boden, in welchem das Mycelium verbreitet ist (Champignonbrut).

Bei höheren Pflanzen können allerhand Teile, welche Knospen besitzen oder solche zu erzeugen fähig sind, nach Abtrennung vom Mutterkörper zu neuen Individuen sich regenerieren. Es gehören hierher hauptsächlich folgende Fälle:

1. Die Knollen. Hierfür liefert das bekannteste Beispiel die Kartoffelpflanze. Jeder der zahlreichen Knollen, die als metamorphosierte Stücke der unterirdischen ausläuferartigen Stengeltriebe in großer Zahl von einer Staude gebildet werden (Fig. 31, S. 113), ist bekanntlich zur Wiedererzeugung einer Kartoffelpflanze geeignet. Jeder Kartoffelknollen hat mehrere Knospen, welche in den grubchenförmigen Vertiefungen sitzen; aus ihnen können Stengeltriebe und Seitenwurzeln sich entwickeln. Das Stärkemehl der Knollen ist das Reservematerial für die Ernährung der jungen Pflanze bei der Keimung. Da aus jeder Knospe eines Knollens eine neue Pflanze entstehen kann, so lassen sich bekanntlich die Kartoffeln durch Zerschneiden der Knollen in Stücke noch weiter vermehren.

2. Die Brutzwiebeln. Bei den Zwiebelgewächsen bilden sich in den Achseln der Zwiebelschuppen Seitenknospen, welche wiederum zu besonderen Zwiebeln werden, die sich endlich abtrennen und zu neuen Pflanzen sich entwickeln.

3. Die Knospenzwiebeln, Brutknospen oder Bulbillen, zwiebelartige Knospen, die bei *Lilium bulbiferum* in den Achseln der grünen Blätter, bei manchen *Allium*-Arten im Blütenstande sich bilden, später sich ablösen und auf dem Boden unter Bewurzelung zu neuen Pflänzchen werden.

4. Die Ausläufer und ausläuferförmigen Wurzelstöcke, d. i. langgestreckte Stengel, welche unmittelbar auf der Oberfläche des Bodens oder im Boden in horizontaler Richtung hinwachsen; an ihren Knoten bewurzeln sie sich und bilden eine Knospe, die zur einer neuen Pflanze erwächst, besonders nachdem der Ausläufer durchgeschnitten worden ist. Auf diese Weise geschieht die Vermehrung der Erdbeeren, aber auch die der Tuckern und ähnlicher Unkräuter, die deshalb schwer vertilgbar sind.

2. Die Abseker oder Ableger, welche man besonders bei Holzpflanzen erhält, wenn ein Zweig bis an den Erdboden gebogen und, nachdem er sich dort bewurzelt hat, von der Pflanze getrennt wird.

3. Die Stecklinge, d. i. künstlich abgeschnittene Pflanzenteile, welche, wenn sie in die Erde gesteckt werden, sich bewurzeln und die Knospen, die sie entweder schon besaßen oder nach dem Abschneiden entwickeln, zu neuen Pflanzen auswachsen lassen. Auf diesem Wege werden besonders Holzpflanzen künstlich vermehrt, indem man ein- oder wenigjährige Zweige als Stecklinge benutzt, die dann am unteren Ende durch sogenannten Callus vernarben und daselbst zugleich Wurzeln treiben. Manche Pflanzen lassen sich auch durch Blattstecklinge vermehren; wenn man Stücke von *Begonia*-Blättern auf feuchten Sand legt, so bilden sich nach einiger Zeit an den Rippen kleine Knöspschen, welche Wurzeln schlagen und neue Pflänzchen liefern. Die Wurzelblätter der auf unsern Wiesen wachsenden *Cardamine pratensis* thun dasselbe.

4. Das Veredeln der Pflanzen ist ebenfalls eine künstliche Vermehrung, wobei ein entwicklungsfähiger Teil einer Pflanze, das sogenannte Edelreis, auf

einen anderen lebenden Stamm, den man dann den Wildling oder die Unterlage nennt, so übergepflanzt wird, daß er mit demselben in organische Verwachsung tritt und dann von diesem ernährt und wie ein Teil dieses, jedoch mit den Merkmalen der Stammpflanze sich weiter entwickelt. Man nennt diese Operation Okulieren, wenn nur eine Knospe samt einem Stück der umgebenden Rinde, dagegen Pfropfen, wenn ein ganzer Zweig auf den Wildling übertragen wird. Die Veredelung in diesen beiden Formen ist besonders an Holzpflanzen ausführbar; doch kann man auch die Augen der Kartoffelknollen auf andere Knollen der Kartoffelpflanze okulieren. Am besten schlägt die Veredelung an zwischen Pflanzen einer und derselben Spezies, weshalb sie hauptsächlich zur Übertragung von guten Varietäten auf Wildlinge oder andere Varietäten angewendet wird. Eine Veredelung zwischen zwei verschiedenen Spezies, die dann aber jedenfalls nahe verwandt sein müssen, gelingt überhaupt selten und ist auch nur in einigen Fällen möglich, so zwischen Äpfeln und Birnen, Quitten und Birnen, Sauer- und Süßkirchen.

II. Die Fortpflanzung durch geschlechtlich erzeugte Keime.

Bei fast allen Pflanzen findet eine Bildung besonderer Zellen statt, welchen die alleinige Aufgabe zufällt, als Keime eine völlig neue Pflanzenentwicklung zu beginnen. Im Gegensatz zu den durch die bloße Ablösung eines schon vorhandenen Gliedes vom Pflanzentkörper bewirkten vegetativen Vermehrung, wird hier die Pflanze von Grund aus erneuert, indem die Entwicklung auf den ersten Ausgangspunkt, auf eine einfache Zelle wieder zurückgreift. Diese Zellen, sofern sie den Anfang eines neuen Individuums darstellen, können generell als Keime bezeichnet werden. In den meisten Fällen werden diese Keime gebildet oder erlangen ihre Entwicklungsfähigkeit zu einem neuen Individuum erst durch eine befruchtende Wirkung, welche von anderen besondern Zellen der nämlichen Pflanzenspezies ausgeht und im Grunde in der Vermischung des Protoplasmas der beiderlei Zellen besteht. Wir haben mit andern Worten in diesen beiderlei Zellen verschiedene Geschlechter vor uns und haben den Vorgang als geschlechtliche Zeugung zu betrachten. Letztere ist die Kraft, durch welche die Keime entwicklungsfähig gemacht werden und durch welche also das Pflanzenleben erneuert und aufgefrischt wird.

Bei den Kryptogamen oder Sporenpflanzen sind die Keime die stets mikroskopisch kleinen sogenannten Sporen; dieses sind einfache Zellen von besonderer Ausbildung, welche in der Regel in außerordentlich großer Anzahl auftreten, als solche ohne weiteres von der Mutterpflanze sich trennen und dann zu einer neuen Pflanze sich entwickeln können. Zwar werden schon bei den Kryptogamen die Sporen vielfach geschlechtlich erzeugt, in vielen andern Fällen aber auch ohne deutlich ausgeprägten Sexualakt oder völlig geschlechtslos. Bei den Phanero-

gamen oder Samenpflanzen machen dagegen die ersten Zellen der neuen Generation, welche den Sporen der Kryptogamen analog sind, auf der Mutterpflanze zunächst noch weitere Prozesse durch, unter denen jedenfalls die hier stets vorhandene geschlechtliche Befruchtung der wichtigste ist und welche mit der Bildung von Samen abschließen; erst letztere sind es, welche als Fortpflanzungsorgane von der Pflanze sich trennen. Sie stellen kompliziert gebaute Körper dar, in denen der Keim schon mit den ersten Organen der zukünftigen Pflanze vorgebildet als sogenannter Embryo oder Keimling nebst dem für seine erste Ernährung erforderlichen Reservenährmaterial eingeschlossen ist.

1. Die geschlechtliche Befruchtung.

Bezüglich der Form, in der die beiden Geschlechtszellen im Pflanzenreiche auftreten, zeigen sich die größten Mannigfaltigkeiten, deren eingehende Schilderung Gegenstand der Morphologie ist. Physiologisch ist dabei besonders folgendes von Interesse. Das Wesen der Sexualität besteht in allen Fällen darin, daß zwei Zellen ihren ganzen Inhalt oder einen Teil desselben, jedenfalls protoplasmatische Substanz, mit einander vermischen und daß dadurch die vereinigten Massen die Kräfte empfangen, um zur Entwicklung eines neuen Pflanzenindividuums fortzuschreiten. Auf den untersten Stufen des Pflanzenreiches sind die beiderlei Geschlechtszellen noch einander gleich, Männliches und Weibliches nicht unterschieden; die Vereinigung der beiden gleichen Zellen, hier Kopulation genannt, liefert direkt eine keimfähige Spore; so zeigt es sich bei der Bildung der Zygosporen gewisser Algen und Pilze und bei der Paarung der Schwärmsporen mancher Algen. Wenn wir von diesen Fällen absehen, so sind überall die beiden geschlechtlichen Zellen von ungleicher Beschaffenheit und entfalten behufs ihrer Vermischung ungleiche Thätigkeit. Die eine von beiden ist schon von vornherein als die erste Zelle des neuen Individuums gekennzeichnet; es ist die weibliche Zelle oder die Eizelle. Die andere, stets von geringerer Massenentwicklung, verleiht jener nach erfolgter Vermischung mit derselben, die Kraft zu einem entwicklungsfähigen Keime sich auszubilden; es ist die männliche Zelle. Die letztere verhält sich bei den verschiedenen Pflanzen nicht übereinstimmend. Allerdings zeigen bei vielen Algen, bei sämtlichen Moosen und Gefäßkryptogamen die männlichen Zellen eine überraschende Ähnlichkeit mit denjenigen der Tiere: der Inhalt einer jeden dieser sehr kleinen Zellen nimmt die eigentümliche Form eines Samenfadens oder Spermatozoids an, welches sich aus seiner Zelle befreit und durch selbständige fortschreitende Bewegung nach der Eizelle gelangt, um mit derselben zu verschmelzen und sie dadurch zu befruchten. In vielen Fällen aber sind es keine geformten Gebilde, welche auf die Eizelle übertragen werden; vielmehr treibt die Zelle, welche hier das männliche Organ darstellt, einen schlauchartigen Fortsatz, welcher solange wächst, bis er mit der Eizelle in Berührung gelangt und dann von seinem Proto-

plasmainhaltige formlose Teile an die Eizelle abgibt, sei es auf dem Wege der Diffusion durch die geschlossene Membran, sei es als eine direkte Vermischung nach Auflösung der Membran an der Verührungsstelle. So sehen wir unter den Pilzen bei den Peronosporaceen und Eaprolegniaceen die Eizelle durch einen Befruchtungsschlauch der männlichen Zelle (des Anthridiums) befruchtet werden. Und ganz besonders fällt unter den namliehen Gesichtspunkt die Befruchtung aller Phanerogamen durch den Pollenschlauch, welchen Prozeß wir sogleich näher betrachten werden. Indessen haben doch neuere Beobachtungen gelehrt, daß unter diesen verschiedenen Befruchtungsarten eine größere Übereinstimmung besteht, als es auf den ersten Blick scheinen konnte. Bei der Befruchtung der Phanerogamen durch den Pollenschlauch scheint es wesentlich die Substanz des Zellkernes dieser männlichen Zelle zu sein, welche sich unter vorübergehender Auflösung mit der weiblichen Zelle vermischt. Und da nun auch jene Spermatozoiden der Kryptogamen im wesentlichen die umgewandelten Zellkerne der männlichen Zellen darstellen, so scheint der Befruchtungsakt wohl allgemein in der Uebertragung des männlichen Kernes in das Protoplasma oder in den Kern der weiblichen Zelle zu bestehen.

Bei den Phanerogamen finden sich die Geschlechtsorgane in denjenigen besonderen Gebilden, welche wir Blüten nennen. Eine Blüte ist nichts weiter als eine Stelle im Sproßsystem der Pflanze, welche mit eigentümlich ausgebildeten Blättern, die eben für die Zwecke der Fortpflanzung besonders eingerichtet sein müssen, ausgestattet ist. In der Regel sind verschiedenartig metamorphosirte Blätter in der der Blüte vereinigt (Fig. 51). Als äußere Be-

Fig. 51. Blüte des Raps, etwas vergrößert.

ccc die Kelchblätter, das vierte hintere nicht sichtbar; pppp Blumenblätter, die beiden vorderen absichtlich herabgebogen, um die sechs Staubgefäße a, von denen vier länger sind, und den Stempel mit dem Fruchtknoten o und der Narbe s zu zeigen. n das Nektarium, d. h. die honigabsondernde Stelle im Grunde der Blüte.

deckung, welche namentlich im Knospenzustande der Blüte zum Schutze dient, fungieren vielfach sogenannte Deckblätter, wie z. B. die Spelzen beim Getreide und anderen Gräsern. Wo keine Deckblätter diesen Dienst leisten, wird derselbe in der Regel von dem äußeren Blattkreise der Blüte selbst versehen, der dann eine ähnliche Beschaffenheit zu haben pflegt und als Kelch — Kelchblätter — bezeichnet wird. Bei sehr vielen Pflanzen steht innerhalb des Kelchs zunächst ein anderer Kreis von Blattgebilden, die sogenannten Blumenblätter, welche durch

lebhafteste Farben auffallen, aber eine sehr hinfallige Beschaffenheit und gewöhnlich sehr kurze Dauer haben, indem sie nur während des Blühens in die Erscheinung treten, und welche eben nur den Zweck haben, während dieser kurzen Zeit durch ihre Farbe zu wirken, indem sie die Mittel sind, um die Insekten zum Besuche und damit zur Vermittelung der Bestäubung der Blüte (s. unten) anzulocken. Im Centrum der Blüte finden wir endlich die eigentlichen Geschlechtsorgane, und zwar die Staubgefäße als das männliche, das Pistill oder den Stempel als das weibliche Organ, oder vielmehr als diejenigen Teile der Blüte, in denen sich die männlichen, beziehentlich weiblichen Geschlechtszellen entwickeln. Wenn beide Geschlechtsorgane in der nämlichen Blüte vorhanden sind, stehen die Staub-

Fig. 52. Eine Anthere, im Durchschnitt.

A im ganzen: schwach vergrößert: man sieht die beiden Antherenhälften, jede bei s durch die Spalte sich öffnend, wodurch jedesmal die beiden Pollensäcke zugleich aufgehen: einen Teil der Pollenkörner sieht man noch in den Pollensäcken liegen. Bei B ein Stück der Antherenwand, stärker vergrößert: e die Epidermis, f die Paliszellschicht.

gefäße in bestimmter Anzahl rings um das Pistill, das letztere nimmt stets die Mitte der Blüte ein (Fig. 51).

Die Staubgefäße oder Staubblätter (stamina) sind metamorphosierte Blattgebilde, deren Blattstiel in die Form eines relativ langen fadenförmigen Teiles übergegangen ist, welcher Staubfaden (filamentum) genannt wird, während sich die Blattfläche in den Staubbeutel oder die Anthere umgewandelt hat. Letztere ist der wesentliche Theil, weil sie die Pollenkörner oder den

Blütenstaub enthält, d. i. diejenigen eigentümlich ausgebildeten Zellen, welche die Rolle der männlichen Zellen spielen und die Befruchtung der Blüte vermitteln. Wenn wir eine reife Anthere quer durchschneiden, so läßt sie in der Regel zwei neben einander liegende einander gleiche Hälften erkennen, und jede derselben besteht wieder aus zwei sogenannten Pollensäcken, d. i. zwei Kammern, welche mit zahlreichen Pollenkörnern erfüllt sind (Fig. 52). Die letzteren stellen im reifen Zustande eine staubförmige Masse von meist gelber Farbe dar, welche sich von selbst aus der reifen Anthere befreit. Dieses geschieht durch einen organischen Prozeß, indem eine jede Antherenhälfte in bestimmter Weise aufspringt, bei den meisten Pflanzen so, daß ein Längsspalt an der Grenze der beiden Pollensäcke sich bildet, welcher die beiden letzteren zugleich öffnet. Der Mechanismus dieses Aufspringens wird durch einen besonderen Bau der Antherenwand bewirkt. Unter der aus dünnwandigen Zellen bestehenden Epidermis befindet sich eine Schicht meist weiterer

Zellen, deren Membranen mit spiraligen oder ringförmigen Verdickungsfasern ausgestattet sind. Wenn nun die reife Anthere austrocknet, so ziehen sich diese beiden Zellschichten wegen ihrer verschiedenen Hygroscopicität ungleich zusammen, und zwar die Epidermis stärker als die Faserzellschicht, so daß die Antherenwand sich nach außen konvex krümmen muß und so das Fach öffnet. Bei Verhinderung des Austrocknens der Antherenwand, also bei längerem Regenwetter, wird das Aufspringen der Antheren und daher die Befruchtung der Blüten vereitelt. Die Entwicklung der Pollenkörner beginnt schon lange vor dem Aufblühen der Blütenknospen. In einer sehr jungen Anthere finden wir an den Stellen, wo später die vier Pollensäcke liegen, eine Gruppe größerer runder, mit dichtem Protoplasma und mit Zellkern versehener Zellen, die Urmutterzellen des Pollens (Fig. 53). Jede derselben läßt ihren Inhalt in vier durch Scheidewände sich trennende, mit je einem neuen Zellkern versehene Teile zerfallen, welche man die vier Spezialmutterzellen des Pollens nennt. Der Inhalt einer jeden Spezialmutterzelle ist der Anfang der jungen Pollenzelle; dieser Protoplasmaförper umkleidet sich mit einer neuen Zellschicht, aus der sich allmählich die

Fig. 53. Entstehung der Pollenkörner.

A Durchschnitt durch eine ganz junge Anthere, welche an den Stellen, wo später die 4 Pollensäcke liegen, bei a a a a je eine Urmutterzelle des Pollens zeigt. Bei B ein Pollensack in späterem Stadium, wo aus der ursprünglich einen mehrere Urmutterzellen entstanden sind. C—E zeigt die Entwicklung der 4 Spezialmutterzellen aus einer Urmutterzelle durch allmähliche Teilung. Bei E lösen sich bereits die jungen noch unfertigen Pollenzellen aus ihren Spezialmutterzellen heraus. Stärker vergrößert als A und B.

Membran der fertigen Pollenzelle entwickelt. Dadurch, daß schließlich die Membranen der Mutterzellen aufgelöst werden und verschwinden, kommt die Isolierung der einzelnen Pollenzellen zu einer staubartigen Masse zu Stande. In der fertigen Pollenzelle befindet sich ein dichtes, körniges Protoplasma, welches oft mit Stärkekörnchen und Öltröpfchen gemengt ist. Die Pollenzellohaut zeigt sehr auffallende Eigentümlichkeiten, die augenscheinlich in der innigsten Beziehung zu der eigenartigen Rolle stehen, welche diese Zellen spielen. Die Membran der Pollenzelle besteht aus der äußeren Pollenhaut oder Exine, d. i. die äußerste kutikularisierte (S. 106), gewöhnlich gelb gefärbte Schicht. Dieselbe ist meist nach außen verdickt in Form von Warzen, Stacheln, Leisten, Rämmen u. s. w., wodurch die Pollenkörner oft eine regelmäßige Skulptur an ihrer Oberfläche erhalten. Sit

ist außerdem die Oberfläche mit harzartiger Substanz bedeckt, welche den Pollen klebrig macht. Unterhalb der Exine liegt die innere Pollenhaut oder Intine, welche nicht kuticularisiert ist und aus Cellulose besteht. An gewissen Stellen bemerken wir die vorgebildeten Austrittsstellen des bei der Befruchtung entstehenden Pollenschlauches (s. unten). Hier ist die Exine dünner oder in Form eines Loches unterbrochen, während die Intine an den betreffenden Punkten oft warzenförmig nach innen oder nach außen verdickt ist.

Der Stempel oder das Pistill, das weibliche Organ der Blüte, ist ebenfalls aus metamorphosierten Blättern, den Fruchtblättern oder Karpellen aufgebaut, im besonderen wiederum in den mannigfaltigsten, für die einzelnen

Fig. 54. Pollenkörner, stark vergrößert.

A vom Kürbis, bei a a a mit mehreren Austrittsstellen für den Pollenschlauch, über welchen die Exine deckelförmig sich abhebt. B von *Althaea rosea*, mit stacheliger Exine und vielen punktförmigen Austrittsstellen. C von *Tragopogon*, mit fahnenförmigen Verdickungsleisten der Exine und bei a a a mit drei Austrittsstellen.

Pflanzengattungen charakteristischen Formen. Gleichbleibend aber ist überall, daß man an jedem Pistill zwei oder drei wesentliche Teile (Fig. 55) unterscheiden kann: erstens den Fruchtknoten (ovarium), d. i. der untere voluminöseste Teil, welcher später zur Frucht heranwächst; er schließt eine einfache oder durch Scheidewandbildung mehrfächerige Höhlung ein, in welcher sich die Samenknochen (ovula) befinden; zweitens die Narbe (stigma), ein den obersten Teil des Stempels einnehmendes mannigfaltig gestaltetes Gebilde, welches zum Auffangen des Pollens bestimmt ist und zu diesem Zwecke mit den sogenannten Narbenpapillen, d. i. haar- oder papillenförmig ausgewachsene Epidermiszellen, bekleidet und häufig noch durch einen sezernierten Saft, die Narbenfeuchtigkeit, klebrig gemacht wird. Seltener sitzt die Narbe dem Fruchtknoten unmittelbar auf, meist befindet sie sich am Ende eines vom Fruchtknoten getragenen dritten Teiles, des Griffels, d. i. ein langes fadenförmiges Organ, welches von dem Griffelkanal durchzogen ist; in diesem wachsen die Pollenschläuche der auf der Narbe gekleisterten Pollenkörner nach der Fruchtknotenhöhle herunter, um zu den Samenknochen zu gelangen.

Die Samenknochen sind die Anfänge der späteren Samen; wir finden sie schon zur Blütezeit im Fruchtknoten als sehr kleine, rundliche helle Körperchen.

Fig. 55. Schematische Darstellung des Fruchtknotens und der Samenknoſpe im Augenblicke der Befruchtung.

o der Fruchtknoten, der nach oben in den Griffel g und endlich in die Narbe ſich fortſetzt, auf welcher 2 Pollenkörner liegen, welche gekeimt ſind und den Pollenschlauch p durch den Griffelkanal zur Samenknoſpe getrieben haben. Letztere zeigt bei f den von einem Fibrovaskelſtrange durchſetzten Junculus, welcher an den nach unten umgewendeten Knoſpenkern n angewachſen iſt (anatrophe Samenknoſpe); ai äußeres, ii inneres Integument; m die Mikropyle, in welche der Pollenschlauch eingedrungen iſt bis zum Embryoſack e, in welchem bei k die Keimbläschen liegen; l die ſogenannten Gegenſtöſler am anderen Ende des Embryoſackes, den Keimbläschen ähnliche Zellen, die aber nicht befruchtet werden.

Es giebt Pflanzen, wo der Fruchtknoten nur eine einzige Samenknoſpe einſchließt, und wo dementsprechend ſpäter die Frucht nur einen einzigen Samen enthält, wie beim Getreide, beim Buchweizen, bei den Kompoſiten ꝛc. Andere Pflanzen enthalten zahlreiche Samenknoſpen im Fruchtknoten; ſie bringen daher auch vielſamige Früchte, z. B. alle Pflanzen mit Kapſelfrüchten, wie Mohn, die meiſten Cruciferen, Leguminoſen ꝛc. Die Samenknoſpen zeigen in ihren Geſtaltverhältniſſen je nach Pflanzenfamilien gewiſſe Verſchiedenheiten; überall aber laſſen ſich folgende Teile wahrnehmen (Fig. 55): 1. der Nabelſtrang (funiculus), ein kurzer, ſtielförmiger Teil, welcher die Samenknoſpe trägt, ihr die Nahrung zuleitet und auch einen dünnen Fibrovaſalſtrang beſiſt, welcher aus dem Fruchtknoten in die Samenknoſpe eintritt. 2. Der Eikern oder Knoſpenkern, d. i. der eigentliche Körper der Samenknoſpe, welcher umgeben wird von 3. der Eihülle (integumentum), die einfach oder doppelt iſt und ein kleinzelliges ſcheidenförmiges Gebilde darſtellt, welches den Eikern vom Grunde aus umwächſt, jedoch ſo, daß auf dem Scheitel deſſelben eine Stelle, der Keimmund (micropyle), frei bleibt. Schon vor der Befruchtung erreicht eine der Zellen im Innern des Eikerns beträchtliche Größe; ſie heiſt der Embryoſack; derſelbe nimmt daher bald den größten Teil des Eikernes ein. Im Embryoſack entſtehen frühzeitig zwei oder drei rundliche Zellen, die Eizellen oder Keimbläſchen. Dieſe nehmen die gegen die Mikropyle gekehrte Gegend des Embryoſackes ein, und ſie ſind es, welche die Befruchtung durch die männlichen Zellen, d. h. durch den Pollen empfangen. Wenn nämlich die Pollenkörner auf Zuckerköſung und dergl. gelangen, ſo keimen ſie, indem ſie einen langen Schlauch treiben, in deſſen Innern der Inhalt der Pollenzelle mit vorwärts rückt. Dieſer Pollenſchlauch entſteht daher auch, wenn Pollen auf die Narbe des Piſtills gelangt iſt, und bahnt ſich von hier ſeinen Weg durch den Griffel nach der Fruchtknotenhöhle, wo er in die Mikropyle einer Samenknoſpe eintritt und biſ zum Embryoſack vorwärts dringt. Bei dem hier ſtattfindenden Zuſammentreffen der Spitze des Pollenſchlauches mit den Keimbläſchen erfolgt die Befruchtung; wahrſcheinlich löſen ſich die trennenden Membranteile der betreffenden Zellen auf; ein Teil des im Ende des Pollenſchlauches enthaltenen Protoplaſmas vermiſcht ſich mit demjenigen des nächſt-angrenzenden der beiden Keimbläſchen und dieſes mit dem des fernerliegenden; das letztere iſt immer das befruchtete, die eigentliche Eizelle. Es iſt beobachtet worden, daß dabei der Zellkern des Pollenſchlauches in die Eizelle eindringt und mit deren Kern verſchniltzt. Aus der Eizelle geht dann unter weiterem Wachstum und weiteren Zellteilungen zunächſt ein rundlicher kleinzelliger Körper, das Embryoſügelfchen, hervor; das letztere geſtaltet ſich dann unmittelbar zum Keimling oder Embryo aus, welcher im reifen Samen als die Anlage der künftigen Pflanze zu finden iſt. Während dieſer Umwandlungen wächſt und verändert ſich auch die Samenknoſpe und wird dadurch zum Samen. Die wichtigſten dieſer Veränderungen beſtehen darin, daß der bedeutend vergrößerte Embryoſack

durch freie Zellbildung sich mit zahlreichen Zellen erfüllt, die das als Endosperm oder Nährgewebe bezeichnete Gewebe darstellen, und daß die äußeren Zellschichten der Samenknoſpe zur Samenschale ſich entwickeln. Das Endosperm erfüllt ſich in ſeinen Zellen mit den für die erſte Ernährung des Embryo bei der Keimung nöthigen Reſervenährſtoffen (S. 107); es umgibt auch den Embryo oder liegt ihm wenigſtens von einer Seite her unmittelbar an. Bei denjenigen Pflanzen, wo der Embryo ſeine beiden Keimblätter zu voluminöſen Organen entwickelt, übernehmen dieſe die Aufſpeicherung der Reſervestoffe, und das Endosperm fehlt. Die Samenschale beſteht aus mehreren Schichten verſchiedenartiger Zellen, welche theils zum Schutze des Samens gegen Druck, theils auch zur Imbibition von Waſſer bei der Keimung dienen. Während der Reifung der Samen zeigt auch der Fruchtknoten ein bedeutendes Waclistum und weitere Ausbildung, wodurch er zur Frucht wird, die bekanntlich auch je nach Pflanzenarten mannigfaltige Beſchaffenheit annimmt.

Alle die Veränderungen, welche den Fruchtknoten zur Frucht und die Samenknoſpen zu den Samen ausbilden, ſind bedingt durch die ſtattgehabte Befruchtung der Samenknoſpen durch die Pollenſchläuche. Dieſe hat wieder zur Vorausſetzung, daß Beſtäubung ſtattfindet, d. h. daß der Pollen thatſächlich auf die Narbe gelangt. Verhindert man durch künstliche Mittel, daß Blütenſtaub auf die Narbe kommt, ſo bringt die Blüte auch nicht Frucht und Samen, der Fruchtknoten ſamt den Samenknoſpen verkümmern. Um die Beſtäubung ſicher und erfolgreich herbeizuführen, beſitzt die Natur verſchiedene ſehr zweckmäßige Einrichtungen. Bei vielen Pflanzen muß nämlich der Pollen bis zu ſeinem Ziele einen ziemlich weiten Weg zurücklegen, indem die Pflanzen eingeglechtliche Blüten haben, wo alſo eine Blüte immer nur eins der beiden Geſchlechtsorgane beſitzt, der Blütenſtaub alſo von der männlichen nach der weiblichen Blüte gelangen muß. Am weitesten iſt dieſer Weg bei den zweihäuſigen (diöziſchen) Pflanzen, wo jedes Individuum immer nur ein einziges Geſchlecht trägt, wo es alſo männliche und weibliche Pflanzen giebt, wie z. B. beim Hanf, Hopfen, bei den Weiden und Pappeln. Die übrigen Pflanzen mit eingeglechtigen Blüten haben beide Blütenarten auf demſelben Individuum und heißen deſhalb einhäuſig (monöziſch); aber dann ſind gewöhnlich männliche und weibliche Blüten auf beſonderen Blütenſtänden getrennt, wie beim Mais, bei den Coniferen, Birken, Erſen, Haſeln, Buchen, Eichen ꝛc. Die Mehrzahl der Pflanzen hat allerdings Zwitterblüten (hermaphrodite Blüten), wo in derſelben Blüte Staubgefäße und Piſtille vereinigt ſind. Allein auch hier iſt meiſt durch eigenthümliche Einrichtungen die ſelbſtbefruchtung der Blüte ausgeſchloſſen oder erſchwert und die Kreuzung einer Blüte durch eine andere erfolgreich. Denn erſtens kann bei manchen Pflanzen der Pollen gar nicht von ſelbſt auf die Narbe der eigenen Blüte gelangen, wie bei den Orchideen und Aſclepiadaceen, wo die zuſammenhängenden Pollenmaſſen wegen ihrer klebrigen Drüſen von den die Blüten beſuchenden Inſekten beim Verlaſſen der Blüte, aus

den Antheren herausgezogen und dann auf andere Blüten verschleppt werden. Zweitens wird die Selbstbefruchtung der Blüten bei manchen Pflanzen durch das Verhältnis der Dichogamie vereitelt, wo die beiden Geschlechter in der Blüte zu verschiedenen Zeiten geschlechtsreif werden, indem bald die Staubgefäße ihren Pollen früher entleeren, als die Narbe derselben Blüte ihre empfängnisfähige Ausbildung erreicht hat, was man protandrisch nennt, bald das umgekehrte der Fall ist, wo als protogynisch bezeichnet wird, so daß im ersteren Falle immer eine jüngere Blüte eine ältere befruchten muß, im zweiten Falle umgekehrt. Malvaceen, Geraniaceen, Umbellifereen, Kompositen sind protandrische, Zuccaceen, manche Gramineen protogynische Dichogamen. Bei manchen Pflanzen, wie bei *Linum*, *Primula*, *Pulmonaria*, wird Wechselbefruchtung der Blüten durch das Verhältnis des Dimorphismus der Blüten bedingt. Hier treten die Zwitterblüten in zwei verschiedenen Formen auf: an dem einen Individuum finden sich lauter Blüten mit langen, herausragenden Griffeln, an anderen Individuen lauter solche mit kurzen, in der Blüte verborgenen Griffeln; dabei befinden sich in der langgriffeligen Form die Antheren in derselben Höhe, wie die Narben der kurzgriffeligen Blüten und ebenso in den kurzgriffeligen Blüten in derjenigen Höhe, in welcher die Narben in den langgriffeligen Blüten stehen. Diese Einrichtung hat nun die Bedeutung, daß durch die die Blüten besuchenden Insekten Pollen von langgriffeligen Blüten auf die Narbe kurzgriffeliger und umgekehrt solcher von kurzgriffeligen auf die Narbe langgriffeliger übertragen wird. In der That haben künstliche Bestäubungsversuche gezeigt, daß, wenn eine solche Blüte mit ihrem eigenen oder mit demjenigen einer anderen gleichartigen Blüte bestäubt wird (illegitime Verbindung), entweder keine oder ungewöhnlich wenige Samen entwickelt werden; während nach Kreuzung beiderlei Blütenarten (legitime Verbindung) der Erfolg sicherer und viel produktiver ist. Ueberhaupt hat sich ergeben, daß bei Kreuzung der Blüten, namentlich zwischen Blüten verschiedener Individuen derselben Art der meiste und feinkräftigste Samen, sowie kräftigere und widerstandsfähigere Pflanzen zustande kommen. Indessen ist sicher, daß manche Pflanzen auch bei Selbstbestäubung guten und feinsamen Samen liefern, wie besonders bei den Cruciferen.

Die Übertragung des Pollens von einer Blüte auf die Narbe einer anderen kann man künstlich z. B. mittels eines Haarpinsels ausführen. In der Natur erfolgt sie durch verschiedene Mittel, wonach wir bei den Landpflanzen Tierblütler und Windblütler unterscheiden. Bei jenen sind es Tiere, besonders Insekten, welche, indem sie die Blüten besuchen, zugleich den Pollen von einer zur anderen übertragen. Diese Tiere sind dabei willenlose Werkzeuge. Sie werden angelockt durch den Honig, welcher in allen diesen Blüten von den sogenannten Nektarien (Fig. 51) sezerniert wird (S. 129) und also die Bedeutung einer Lockspeise für die Bestäubungsvermittler hat. Um diese Blüten für ihre Besucher auch aus der Entfernung kenntlich zu machen, bedient sich die Natur

verschiedener Mittel: das gewöhnlichste sind die lebhaften weithin leuchtenden Farben, welche den Blüten aller Insektenblütler eigen sind; außerdem auch der Wohlgeruch, durch den wahrscheinlich die Insekten ebenfalls zum Besuche der Blüten eingeladen werden. Es ist bedeutungsvoll, daß diejenigen Blüten, welche nicht durch Insekten bestäubt werden, auch der lebhaften Farben und der Wohlgerüche entbehren. Im Bau der Blüte, sowie in der Stellung und Form der einzelnen Blütheile zeigen überdies die durch Insektenhilfe sich bestäubenden Blüten eine Fülle interessanter Einrichtungen, welche darauf berechnet sind, daß gerade durch diejenigen bestimmten Insekten, welche die betreffenden Blüten hauptsächlich zu besuchen pflegen, die Übertragung des Pollens auf die Narben sicher erfolgen muß. Im Näheren gehört die Schilderung dieser Verhältnisse in die Morphologie der Blüten. Der Pollen selbst ist bei den Insektenblütlern durch die Verdickungen der Exine (S. 179) rauh und außerdem durch harzige Sekrete klebrig, wodurch er den Körperteilen der Blütenbesucher überaus leicht anhaftet.

Bei den Windblütlern wird der Blütenstaub durch die Luft übertragen. Hier fehlen die lebhaften Blütenfarben; die Narben sind hier in der Regel weit in die Luft vorgestreckt und die Antheren schütten den Pollen, der hier glatt und leicht verstäubbar ist, meist auch in besonders großer Menge produziert wird, wie ein Staubwölkchen in die Luft aus. Die meisten Gramineen, die Koniferen, Cupuliferen, Betulaceen, Urticaceen u. werden auf diese Weise bestäubt. Indessen ist bei den verschiedenen Getreidearten auch Selbstbestäubung der Blüten wirksam. Beim Roggen, dessen Antheren zur Zeit, wo sie aufspringen, weit aus den Spelzen heraushängen, ist die Kreuzung der Blüten die gewöhnliche Regel und giebt den besten Erfolg. Beim Weizen und Hafer öffnen sich zwar die Spelzen auch, aber die Antheren platzen hier schon vor dem Hervortreten, und die Selbstbestäubung erzielt hier auch vollkommene Fruchtbarkeit. Die Gerste öffnet meist die Spelzen gar nicht oder wenig, und Selbstbestäubung ist hier die Regel. Der Umstand, daß bei den Windblütlern zur Blütezeit entweder die Staubfäden, wie bei den Gramineen, oder die Stielchen der Ährchen, wie bei manchen Gräsern, oder die Spindel des männlichen Kätzchens, wie bei den Cupuliferen und Betulaceen, sehr dünn sind und durch den leisesten Luftzug in zitternde Bewegung versetzt werden, ermöglicht das Ausschütteln des Pollens aus den Antheren. Bei manchen Urticaceen wird durch eine schnellende Bewegung, in welche die in der Blüte anfangs eingeklemmten Staubfäden plötzlich geraten, der Blütenstaub in die Luft fortgeschleudert. Der Pollen der Windblütler ist auch von ziemlich geringer Schwere und wird daher leicht durch die Luft fortgeweht („Schwefelregen“ durch den Blütenstaub der Kiefernwälder). Doch wird bisweilen auch schon durch die Stellung des weiblichen Blütenstandes gerade unterhalb des männlichen, die Bestäubung durch herunterfallenden Pollen befördert, wie beim Mais- und Rohrkolben.

Das Lebensalter der geschlechtlichen Reife, d. h. den Zeitpunkt, wo sie zur Blüte kommen, erreichen die verschiedenen Pflanzen zu ungleichen

Zeiten. Die einjährigen Gewächse blühen natürlich nur ein einziges Mal, eben schon in der ersten und einzigen Vegetationsperiode, welche ihr Leben umfaßt, wie wir es an allen unseren Sommerfrüchten, ebenso auch an den Winterfrüchten kennen. Die mehrjährigen Pflanzen bringen gewöhnlich erst, wenn sie ein oder mehrere Jahre alt sind, zum erstenmale Blüten, obgleich z. B. der Krokus, die Luzerne, Esparsette und andere perennierende Leguminosen, welche meist mehrere bis viele Jahre alt werden, schon im ersten Jahre blühen. Besonders müssen die Holzpflanzen ein höheres Alter erreichen, ehe sie zum erstenmale blühen: es ist dies durchschnittlich bei Fichten im 50., bei Weisstannen im 30., bei Kiefern im 15. bis 20., bei Lärchen im 15., bei Eichen im 60., bei Rotbuchen im 40. bis 50., bei Hainbuchen im 20., bei Haseln im 10., bei Birken im 10. bis 12., bei Erlen im 15. bis 20., bei Ulmen im 40., bei Linden im 25. bis 30., bei Ahorn im 25. bis 30., bei Eschen im 25. Jahre nach der Reimung der Fall. Im allgemeinen pflegen die mehrjährigen Pflanzen vom Zeitpunkt ihrer Blühbarkeit an unter günstigen Umständen jedes Jahr zu blühen. Wenigstens ist dies bei den premnierenden Kräutern die gewöhnliche Regel. Doch bestehen bei manchen Holzpflanzen periodische Schwankungen, indem während einer Reihe von Jahren die Blütenbildung ausbleibt oder einen weit geringeren Erfolg hat, wie es besonders bei der Rotbuche bekannt ist. Die Agave-Arten, besonders die sogenannte hundertjährige Aloe, *Agave americana*, blühen erst im hohen Alter, aber nur ein einziges Mal, indem nach erfolgtem Blühen das ganze Gewächs regelmäßig abstirbt.

2. Verbreitungsmittel der Samen.

Sobald der Samen seine Reise erreicht hat, löst sich der Zusammenhang desselben mit der Pflanze von selbst, wodurch jener also zur Aussaat bereit geworden ist und wenn er nicht geerntet wird, von selbst seinen Weg in den Boden findet. Es giebt nun aber an den Pflanzen noch verschiedene Einrichtungen, durch welche sie gleichsam selbst die Aussaat des Samens bewirken und wodurch dem letzteren namentlich eine möglichst weite Verbreitung gesichert wird. Manche Kapseln haben die Eigentümlichkeit, daß sie beim Trockenwerden plötzlich elastisch aufspringen, wodurch die Samen weit umhergeschleudert werden (Erbsen, Lupinen, Springkraut, Wolfsmilch u.). Viele trockene Schließfrüchte, die im ganzen von der Pflanze sich losrennen, sowie manche aus Kapseln sich entleerende Samen besitzen Flugapparate, welche eine weite Verbreitung durch den Wind ermöglichen. Es sind dies entweder flügelartige Anhängel (an den Nüsschen der Birken, des Ahorn, der Eschen, an den Samen der Kiefer) oder lange Haarbesätze (an den Nüsschen vieler Kompositen der sogenannten Pappus oder die Haarkrone, wie bei Distel, Löwenzahn, Huflattich und vielen anderen, an den Samen der Weiden, Pappeln, des Weidenrösschens, Baumwolle). Wieder andere Pflanzen entwickeln an ihren Nüsschen Haftorgane, in Form von Stacheln,

Borsten, Haken (Klette, Klebkraut u.), wodurch die Früchte sich in der Wolle von Tieren und an anderen Körpern festhaken und so mit Viehtransporten, Wolle, Warenballen u. verschleppt werden. Für alle saftigen Früchte ist das meist wohlschmeckende Fruchtsfleisch ein Verbreitungsmittel, weil dadurch Menschen und Tiere, besonders Vögel, angelockt und zur Verbreitung dieser Früchte getrieben werden, deren harte Samenkerne dann, selbst nach dem Genuße, mit dem Stote wieder unverseht abgesetzt werden. Die vielen Beispiele von weiter Verbreitung der Pflanzen ohne menschliche Absicht, namentlich auch das Unmüßgreifen mancher Unkräuter, erklärt sich hierdurch.

3. Die Keimung.

Aus den Sporen der Kryptogamen und aus den Samen der Phanerogamen entwickeln sich unter den geeigneten Bedingungen neue Pflanzen. Die Sporen beginnen zu wachsen, indem sie einen Keimschlauch treiben, welcher sich weiter zur jungen Pflanze entwickelt. Bei den Samen ist es der in denselben eingeschlossene Keimling, welcher durch lebhaftes Wachstum sich vergrößert und aus der Samenschale sich befreit, worauf er zu einem kleinen im Boden wurzelnden Pflänzchen, dem Keimpflänzchen, erstarkt. Wir nennen diesen Prozeß die Keimung. Sie beginnt mit der Quellung des Samens, welche darin besteht, daß der letztere Wasser in sich aufnimmt, wodurch sein Wassergehalt, der im ruhenden lufttrocknen Zustande sehr gering ist, bedeutend zunimmt. Bei manchen Samen, besonders bei denjenigen der Leguminosen, ist damit auch eine ansehnliche Volumenvergrößerung verbunden, während viele andere Samen dadurch nicht merklich aufquellen. Das Wasser dringt durch die Samenschale ein; die sehr ungleiche Schnelligkeit, mit der das geschieht, hängt ohne Zweifel mit der eigentümlichen Beschaffenheit der Samenschale zusammen. Häufig ist in derselben eine besondere Quellschicht zu unterscheiden, welche oft aus prismatischen, mit dem langen Durchmesser senkrecht zur Samenoberfläche stehenden, sehr dickwandigen und stark quellbaren Zellen besteht; bald ist es die Epidermis, bald eine tiefer gelegene Zellschicht, welche diese Ausbildung angenommen hat. Aber auch dann wird durch die für Wasser schwer durchdringbare Cuticula des Samens, wenn sie unverletzt ist, die Quellung oft sehr verzögert, wie z. B. bei Lupinen und anderen Leguminosen; darum gehen diese Samen nur dann, wenn sie geritzt worden sind, gleichmäßig in kurzer Zeit auf. Zuerst wächst stets das Würzelchen des Embryo die Samenschale sprengend aus dem Samen hervor und vertieft sich, da es positiv geotropisch ist (S. 157), in den Boden. Erst nachdem die Wurzelbildung eine gewisse Erstarkung gewonnen hat, beginnt die Stengelknospe, die sogenannte Plumula, aus dem Samen hervorzukommen und wendet sich negativ geotropisch nach oben.

Die spezifischen Verschiedenheiten, welche die Form der Keimung zeigt, hängen vorzüglich damit zusammen, in welchem Teile des Samens die für die

erste Ernährung des Keimpflänzchens bestimmten Reservestoffe (S. 107) enthalten sind. Die letzteren sind bei vielen Dikotylen in den Samenblättern (Kotyledonen) niedergelegt. Dieses sind die beiden ersten Blätter des Keimstengelchens. Wenn sie die Reservestoffe enthalten, so zeigen sie ein zweifaches Verhalten (Fig. 56). Entweder bleiben sie bei der Keimung im Samen stecken und mit demselben unterirdisch (hypogäe Keimung); dann ist es das über den

Fig. 56. Keimung der Dikotylen.

I. Vein. A erstes Stadium, wo das Wurzelschen soeben aus dem Samen hervorgewachsen ist. B späteres Stadium, wo das Wurzelschen tiefer eingedrungen ist, und das epikotyle Stengelglied oberhalb r sich bedeutend verlängert hat, wodurch die beiden Kotyledonen mit der Samenschale, die eben abgestreift wird, über den Erdboden hervorgetreten sind. C noch späterer Zustand, wo sich die Kotyledonen vollständig ausgebreitet haben als grüne Blätter, und die Stengelknospe oder Plumula p sich zu entwickeln beginnt.

II. Ackerbohne. A erstes Stadium, wo das Wurzelschen soeben hervorgewächst. B späteres Stadium, wo das Wurzelschen schon weiter erstarrt ist, und die Stengelknospe oder Plumula p allein über die Erde hervortritt, indem die beiden Kotyledonen bei c mit dem Samen unterirdisch bleiben, weil hier nicht das zwischen r und c liegende hypokotyle Stengelglied, sondern das oberhalb c liegende epikotyle Glied sich in die Länge streckt.

Kotyledonen befindliche Stück des Keimstengels, das epikotyle Glied, welches bei der Keimung sich stark verlängert und die Stengelknospe über die Erde emporhebt; so keimen die Erbsen, Wicken, Ackerbohnen, Eicheln. Oder die Kotyledonen kommen über der Erde zum Vorschein, indem umgekehrt das unter denselben befindliche Stück des Keimstengels, das hypokotyle Glied, durch starkes Längenwachstum sich aus dem Boden hervorstreckt (epigäe Keimung); in diesem Falle streifen die Kotyledonen die Samenschale sehr bald ab und entfalten sich nachdem sie ihre Reservestoffe abgegeben haben, als blattartige grünwerdende Organe, die in diesem Zustande eine neue Funktion übernehmen, nämlich die ersten Assimilationsorgane des Keimpflänzchens darstellen, während die hypogäen Kotyledonen stets dicke fleischige, aber nicht grüne Gebilde sind, welche absterben, sobald ihre Reservestoffe verbraucht sind. Mit epigäen Kotyledonen keimen die meisten Dikotylen, z. B. alle Cruciferen, der Lein, der Klee, die Lupinen, Buchen u. Bei denjenigen Pflanzen, wo die Reservestoffe nicht im Keimling selbst, sondern in dem Endosperm oder Nährgewebe (S. 107) abgelagert sind, werden dieselben während der Keimung von den Kotyledonen aus dem Endosperm herausgesogen. Hier erfolgt die Keimung auch mit epigäen Kotyledonen, aber die letzteren bleiben solange in dem Endosperm und in der Samenschale stecken, bis jenes ausgesogen ist; dann streifen auch sie die Samenschale ab und entfalten sich als grüne assimilierende Blattorgane. Dieses Verhältnis bieten der Buchweizen, die Rüben, der Mohn, die Umbelliferen u. dar. Bei den Monokotylen (Fig. 57), wo nur ein einziges Samenblatt vorhanden ist, welches scheidenförmig die Stengelknospe umgiebt, und wo die Reservestoffe ebenfalls in einem Endosperm niedergelegt sind, befügt der Embryo meistens ein besonderes Saugorgan, welches ihm die Reservestoffe aus dem Endosperm zuführt. Dieses ist besonders in den Getreidekörnern, überhaupt bei allen Gramineen zu finden. Es wird als Schildchen (scutellum) bezeichnet und stellt einen scheiben- oder schildförmigen Anhang auf dem Rücken des Embryo dar. Der letztere befindet sich hier seitlich am Grunde des Endosperms und liegt demselben mit seinem Schildchen unmittelbar an. Bei der Keimung wachsen sowohl die Wurzeln als auch das Stengelchen aus dem Getreidekorne hervor, aber mit dem Schildchen bleibt der Keimling in dem Korne auf dem Endosperm sitzen, und alle Stoffe des letzteren werden durch Vermittelung dieses Saugorganes dem Keimpflänzchen zugeführt. Das Schildchen ist aus parenchymatischen, plasmareichen Zellen zusammengesetzt, in denen während der Keimung ein lebhafter Stoffverkehr stattfindet. Das Endosperm aller Samen erscheint nach vollendeter Keimung entleert und zusammengeschrumpft.

Alle Keime der Pflanzen, die Sporen sowohl wie die Samen, treten, sobald sie ihre Reife erlangt und sich von der Mutterpflanze getrennt haben, in der Regel in einen Ruhestand, in welchem keinerlei Veränderungen an ihnen wahrgenommen werden. Man nennt diesen Zustand die Keimruhe. Aus dieser

Fig. 57. Das Maiskorn mit den Reservestoffen.

A Maiskorn im ungermineten, B im keimenden Zustande durchschnitten. sch die Schale, ME (mehliges) und HE (horniges oder glasiges) Endosperm; an der rechten Seite der Keimling, bestehend aus dem Sängorgan oder Schildchen sc, aus der von dem scheidenförmigen Kothledon cot umhüllten Plumula Pl und aus dem von der Coleorhiza Col umgebenen Würzelchen Rad, welches bei der Keimung aus der Coleorhiza hervorstößt (w). Smal vergrößert.

C eine Stelle, wo das Schildchen sc an das Endosperm ME angrenzt. Die Zellen des letzteren sind ganz mit Stärkekörnern erfüllt, die hier locker angehäuft liegen, daher eine mehligte Beschaffenheit hervorbringen. Das Schildchen besteht aus kleineren, reich mit Protoplasma und Öltröpfchen erfüllten Zellen. Seine Funktion, die Stoffe aus dem Endosperm aufzusaugen, zeigt sich auch in der eigentümlichen palissadenförmigen Gestalt derjenigen Zellen, mit denen es an das Endosperm angrenzt (Pal). Stärker vergrößert.

Die äußere Partie des Endosperms. Die an die Schale sehr angrenzende äußere Zellschicht des Endosperms, die sogenannte Kleberhülle (Kl.) enthält keine Stärkekörner, sondern nur mit Öl gemengte Eiweißmassen. Darunter beginnt erst das mit Stärkemehl erfüllte Gewebe, welches an dieser Stelle die Stärkekörnchen innerhalb der Zellen an einander gepreßt und verklebt zeigt, wodurch die glasige Beschaffenheit des Endosperms bedingt wird. Ebenso stark vergrößert.

(Frank u. Tschirch, Wandtafeln IV.)

werden die Sporen und Samen erweckt und zur Keimung angeregt, wenn sie unter die Bedingungen der Keimung gebracht werden, denn im allgemeinen lassen sich die Samen nur dadurch in der Keimruhe erhalten, daß man sie vor den Keimbedingungen, vor allen Dingen vor Feuchtigkeit bewahrt. Das Vermögen, aus der Keimruhe zum Keimen zu erwachen, nennt man die Keimkraft oder Keimfähigkeit. Sie kann durch ungünstige äußere Einflüsse vorzeitig zerstört werden. Aber auch unter normalen Verhältnissen erhält sie sich ungleich lange und jedenfalls nicht in unbeschränkter Dauer. Im allgemeinen keimen Sporen und Samen im ersten Jahre am sichersten; in den nächstfolgenden Jahren vermindert sich die Keimkraft, erst langsam, dann sehr rasch, indem immer weniger Samen aufgehen (sehr deutlich beim Klee, bei den meisten Gehölzsaamen). Sicher aber ist, daß die Samen vieler Pflanzen bei Aufbewahrung unter sehr gleichbleibenden günstigen Verhältnissen ihre Keimfähigkeit viele Jahre lang behalten können.

Um den Samen aus seiner Keimruhe zu erwecken, müssen bestimmte Bedingungen eintreten, welche die Keimungsbedingungen genannt werden. Sie fallen im Grunde mit den allgemeinen Bedingungen des Pflanzenlebens zusammen. Damit Samen keimen, bedarf es 1) der Anwesenheit von Wasser; auf einer ganz trockenen Unterlage, in einer ganz trockenen Bodenschicht kann kein Samen keimen, es ist aber gleichgültig, ob dem Samen die Feuchtigkeit im Erdboden oder außerhalb desselben geboten wird; 2) der Anwesenheit von Sauerstoff, weil mit dem Erwachen des Lebens der Atnungsprozeß (§. 136) beginnt; darum können Samen, welche tief unter der Erdoberfläche liegen, nicht aufkeimen und die Samen müssen um so flacher gesät werden, je kleiner sie sind; indessen hat zu flache Saat die Gefahr des Austrocknens des jungen Keims, weshalb gerade auf leichteren Böden die Saat tiefer als auf strengen feuchten Lehm- oder Thonböden gesät werden muß; 3) einer gewissen Temperatur, indem ja doch das Wachsen der Pflanzen überhaupt von der Temperatur abhängig ist (§. 153). Auch hat man beobachtet, daß manche Samen, z. B. Hauf, Raps, Hafer, Fiorin-gras, im Dunkeln schneller keimen als im Lichte.

Sind alle Keimungsbedingungen gegeben und war der Samen keimfähig, so beginnt der Keimungsprozeß, worunter wir das Erwachen des ruhenden Keimlings zum Leben verstehen. Die Schnelligkeit der Keimung pflegt man nach der Zeit zu beurteilen, welche bis zum Hervorwachsen der Teile des Keimlings

aus dem Samen vergeht. Getreide, Gräser, Kreuzblütler und viele Papilionaceen brauchen dazu nur 2 bis 8 Tage; viele andere Pflanzen längere Zeit, z. B. Mohn und die meisten Doldengewächse etwa 2 Wochen. Auch die Samen der Holzpflanzen keimen meist langsam; Hainbuche und Esche liegen sogar über, d. h. keimen erst im zweiten Frühlinge nach der Aussaat.

4. Vererbung.

Im allgemeinen gleicht die aus einem Samen erwachsene Pflanze in allen Beziehungen der Mutterpflanze, von welcher der Same her stammt; man kann also sagen, daß die Merkmale der Pflanzen sich bei der Fortpflanzung vererben. Neben der Vererbung aller spezifischen Merkmale beobachten wir aber oft ein Auftreten gewisser geringfügigerer neuer Merkmale an einzelnen oder an vielen Nachkommen einer Pflanze. Man nennt diese Erscheinung das Variieren und die neuen Pflanzenformen Varietäten (Spielarten, Abarten, Rassen, Sorten), die ursprüngliche Form die Stammform. Es kann daher von einer Art mehr oder weniger viele Spielarten geben; die Merkmale der Spielart ändern aber an den Charakteren der Spezies nichts, sie beziehen sich nur auf gewisse Form- und Farbenverhältnisse der Blätter, auf Höhe des Stengels, Größe und Farbe der Blüten, Größe, Form, Farbe und Geschmack der Früchte oder Samen, Zeit und Dauer der Entwicklungsperioden. Aber so leicht wie solche neue Merkmale entstehen, so leicht verschwinden sie auch oft wieder bei weiterer Fortpflanzung, und die Pflanze nimmt wieder den Charakter der Stammform an. So gehen besonders die edlen Obstsorten bei Fortpflanzung durch Samen, die noch obendrein beim Edelobst meist schlecht keimfähig sind, stets auf die wilde Stammform zurück, man kann die edlen Sorten deshalb nur durch vegetative Vermehrung, nämlich durch Pfropfen (S. 175) dauernd erhalten. Es giebt aber noch ein anderes Mittel, um die Merkmale einer Spielart unverändert zu erhalten, und dieses besteht darin, durch fortgesetzte Zucht aus Samen die neuen Merkmale zu befestigen, was man die Züchtung nennt. Zu diesem Zwecke wählt man unter den vorhandenen Pflanzen die Samen derjenigen Individuen aus, welche eine gewünschte neue Eigenschaft zeigen und baut dieselben für sich an; unter den so erhaltenen Pflanzen ist zwar wieder ein großer Teil auf die Stammform zurückgeschlagen, aber schon ein größerer Prozentsatz als bei der ersten Aussaat zeigt die neuen Merkmale; und mit jeder neuen in dieser Weise durch Auswahl bewirkten Zucht wird dieser Prozentsatz größer.

Wenngleich die Entstehung neuer Varietäten im allgemeinen spontan, d. h. von äußeren Umständen unabhängig geschieht, so ist doch ein gewisser Einfluß äußerer Faktoren unbestreitbar. In der Gärtnerpraxis weiß man, daß die meiste Aussicht ist, Varietäten zu erzielen, wenn die Pflanzen in besonders gutem Boden oder in verschiedenartigen Bodenmischungen oder Düngungen kultiviert werden. Die Mohrrübe bringt auf unfruchtbarem Boden die dünne, holzige, zuckerarme

Wurzel der wilden Form, nur auf gutem Gartenboden dicke, fleischige, zuckerreiche Wurzeln. Ferner hat man in einigen Fällen nachweisen können, daß die in verschiedenen Klimaten vorkommenden Varietäten wirklich durch die veränderten klimatischen Verhältnisse erzeugt sind. Wenn Samen südlicher Pflanzen in nördlichen Gegenden angebaut werden, so bilden sich Varietäten mit kürzerer Vegetationsdauer, die dadurch allmählich dem Klima sich anpassen. Oft vermag aber das veränderte Klima, der veränderte Boden zc. in der ersten oder in den ersten Generationen die ursprünglichen Eigenschaften der Pflanze nicht gleich zu ändern. So können wir durch Anbau nördlicher Varietäten wegen der diesen eigenen kurzen Vegetationsdauer eine schnellere Reife und zeitigere Ernte erzielen. Ebenso lassen sich manche Getreidesorten, die in gewissen Gegenden wegen der dort vereint gegebenen günstigen Bedingungen entstanden sind, zunächst mit ziemlich denselben Eigenschaften auch in anderen Gegenden, denen jene Bedingungen fehlen, kultivieren. Aber bei fortgesetzter Zuzucht von Samen gehen in der neuen Gegend den Pflanzen nach einigen Generationen die vorteilhaften Eigenschaften wieder verloren, so daß man die letzteren nur durch Samenwechsel erhalten kann.

Wenn eine Befruchtung zwischen Blüten stattfindet, die nicht derselben Pflanzenart, sondern verschiedenen Spezies angehören, so nennt man dies Kreuzung oder Bastardierung und die daraus entstandenen Pflanzen Bastarde, Mischlinge, Blendlinge oder Hybride. Dieselben zeigen dann Eigenschaften der beiden Stammeltern vereinigt; bald sind mehr diejenigen des Vaters, bald mehr diejenigen der Mutter vorherrschend; oft treten auch hierbei ganz neue Merkmale auf und besonders sind die Bastarde zu einem stärkeren Variieren geneigt. Auch sind die Bastarde nahe verwandter Arten in ihren vegetativen Organen meist kräftiger als ihre Eltern, dagegen in ihren Fortpflanzungsorganen geschwächt, indem die Staubgefäße oft keinen gehörig ausgebildeten Pollen enthalten oder auch ganz verkümmert sind, und die Samenknospen häufig fehlschlagen. Nicht selten geschieht Kreuzung ohne unsere Absicht in der Natur, besonders bei Pflanzen, die durch Insekten bestäubt werden; ebenso auch bei windblütigen Pflanzen. Oft wird aber auch künstlich eine Bastardierung vorgenommen, indem man Blütenstaub auf die Narbe einer anderen Pflanze überträgt und durch geeignete Umhüllung der Blüten dafür sorgt, daß keine anderweite Bestäubung stattfinden kann. Man bedient sich des Mittels oft, um neue Varietäten zu gewinnen. Gewisse Pflanzen sind zur Bastardierung viel mehr geeignet als andere, z. B. die Weiden und Disteln. Immer aber schlägt die Bastardierung nur zwischen sehr nahe verwandten Pflanzen an, im allgemeinen nur zwischen Arten einer und derselben Gattung. Die Neigung zur Bastardbildung ist in den einzelnen Pflanzenfamilien sehr ungleich. Besonders leicht bastardieren die Salicaceen (so sind von den 32 europäischen Weidenarten über 70 wildwachsende Bastarde bekannt), die Scrophulariaceen (besonders *Verbascum*), Solanaceen, Caryophyllaceen (namentlich die Gattungen *Dianthus*, *Lychnis*, *Silene*), Cacteen,

Rosaceen (besonders *Rosa* und *Rubus*), *Œnotheraceen* (namentlich *Epilobium*), *Ranunculaceen*, manche *Kompositen* (vorzüglich *Cirsium*) zc., während Kreuzung gar nicht oder nur bei einzelnen Arten bekannt ist bei *Gramineen* (jedoch sind zwischen Weizenvarietäten, auch zwischen Weizen und Spelz, Weizen und *Aegilops* Bastarde erzielt worden), *Papilionaceen* (hier nur bei Bohnen, Erbsen, Wicken, zwischen *Medicago sativa* und *M. falcata*), *Cruciferen* (eine Ausnahme machen die leicht bastardierenden Arten von *Nasturtium*), *Labiaten* zc.

Die Bestäubung einer Blüte mit dem Pollen einer anderen Spezies oder Varietät hat bisweilen schon auf die dadurch erzeugte Frucht einen Einfluß. Solche sogenannte Mischfrüchte bilden sich bei Kreuzungen von Maisforten mit verschiedenfarbigen Körnern; die geernteten Kolben haben dann außer Körnern, die der Mutterpflanze gleich gefärbt sind, auch solche, an denen die Farben des Vaters vertreten sind. Analoge Erscheinungen kommen an Äpfeln vor, wo die Farbenzeichnung Mischungen der beiden elterlichen Formen zeigt.

Auch auf vegetativem Wege, nämlich durch Pfropfung, werden Merkmale der einen Pflanzenform auf eine andere übertragen. Es entstehen dadurch sog. Pfropfhybride. Wenn man Reiser mit panachierten Blättern auf eine nicht panachierte Pflanze pflöpft, so bekommen häufig die neuen Triebe der letzteren ebenfalls gefleckte Blätter. Auch umgekehrt übertragen sich Merkmale der Unterlage auf das Pfropfreis. Bekannt sind die Kartoffel-Pfropfhybride, durch die man die guten Eigenschaften zweier Sorten zu vereinigen trachtet. Man schneidet den Knollen alle Augen aus, setzt in einen Ausschnitt ein genau passendes Stück mit Augen des anderen Knollens ein und bindet es mittels Bast fest, oder man zerschneidet die schon angetriebenen Knollens in zwei mit Zehöcklingen versehene Teile und legt die Schnittflächen je zweier Sorten mittels eines festen Verbandes aneinander. Die neuen Knollen, die aus solcher Saat geerntet werden, zeigen dann oft die verschiedene Farbe, Gestalt und Größe der beiden Stammformen vermischt.

Sach-Register.

A.

Abarten 192.
 Ableger 174.
 Absenker 174.
 Absonderungen 130.
 Absorptionserscheinungen des Chlorophylls 64.
 Absorptionskräfte des Bodens 21.
 Absynthiin 94.
 Acetamid als Nahrung 78.
 Acetamid als Pilznahrungsmittel 78.
 Adyrodextrin 91.
 Aconitin 98.
 Aconitsäure 95.
 ätherische Öle 11, 96, 129, 130, 132.
 Apfelsäure 95, 128.
 Asfulin 93.
 Albuminate 98.
 Aneurontörner 109.
 Algen, erdbodenbewohnende 71.
 Alfaloide 11, 97.
 Alkoholbildung 138.
 Alkoholgärung 139.
 Alantoin 101.
 Alkylsenföel 97.
 Alkylsulfid 97.
 Aloebitter 94.
 Aloin 94.
 Aluminium 9.
 Ameisensäure 95, 128.
 Amide 101, 112, 121, 123.
 Amide als Pilznahrungsmittel 78.
 Amidoverbindungen 11.
 Ammoniak als Pilznahrungsmittel 78.
 Ammoniakdüngung 68.
 Ammoniak, Nitrisation des 67.
 Ammoniaksalze als Nährstoffe 66.
 Ammoniaksalze, Assimilation der 69.
 Amygdalin 93.
 Amylobegtrin 91.

Amyloid 112.
 amyllum 91.
 Anthere 178.
 Antheridium 177.
 Anthocyan 102, 129.
 Anthoxanthin 102.
 Arsen 9.
 Asche 10.
 Aschenbestandteile 10.
 Asparagin 101, 121, 123.
 Asparagin als Nahrung 78.
 Assimilation 57.
 Assimilation der Ammoniaksalze 69.
 Assimilation der Salpetersäure 68.
 Assimilationsprodukte, Transport der 121.
 Assimilations-Stärkefemhl 65.
 Atmung 134.
 Atmung, intramolekulare 138.
 Atropin 98.
 auflösende Kraft der Wurzel 21.
 Aufnahme der Nahrung 12.
 Aufnahme des Wassers 12.
 Aufnahme gasförmiger Nahrungsstoffe 42.
 Aufsaugung von Wasser durch Blätter 16.
 Aufsteigen des Wassers 27.
 Ausläufer 174.
 Ausscheidungen 130.
 Auswanderung der Reservestoffe 123.
 autonome Bewegungen 157.
 autotrophe Pflanzen 47.
 Auxanometer 150.
 Avenin 99.

B.

Bakteroïden 53.
 Balanophoraceen 81.
 Baldriansäure 95.
 Balsame 97, 130, 133.
 Barium 9.

basale Vegetationszone 146.
 Bastarde 193.
 Bastardierung 193.
 Bastfasern 167.
 Bastparenchymzellen 118.
 Baustoffe 103.
 Bedeutung der Pflanzenstoffe 103.
 Bedingungen der Kohlensäurezersehung 63.
 Befruchtung, geschlechtliche 176.
 Bernsteinsäure 95.
 Bestäubung 183.
 Bestandteile, chemische 8.
 Betain 101.
 Bewegungen 156.
 Bewegungen, autonome 157.
 Bewegungen der Ranken 161.
 Bewegungen, periodische 162.
 Bewegungen, spontane 157.
 Bewurzelung 15.
 Biegungsfestigkeit 166.
 bittere Extraktstoffe 11.
 Blätter, panachierte 125.
 Blattgrün 101.
 Blatt, Nerven des 29.
 Blatt, Rippen des 29.
 Blattstielringe 174.
 Blei 9.
 Bleichsucht 89, 125.
 Blendlinge 193.
 Blüten 177.
 Blüten, Dimorphismus der 184.
 Blüten, eingeschlechtliche 183.
 Blütenfarbstoffe 129.
 Blüten, hermaphrodite 183.
 Blütenstaub 178.
 Blumengelb 102.
 Blut 68.
 Blüten 38.
 Blutungsstift 39.
 Boden, Absorptionskräfte des 21.
 Bor 9.
 Borke 25.
 Borneokampher 97.
 Brom 9.
 Brucin 98.
 Brutknospen 174.
 Brutzwiebeln 174.
 Bulbillen 174.
 Buttersäuregärung 140.

C.

Cacaobutter 96.
 Calcium 9.
 Calcium als Nährstoff 55, 87.
 Calciummalat 126.

Callus 174.
 Carben 96.
 Carbol 97.
 Catechugerbäure 94.
 Cellulose 91, 104.
 Cellulose-Gruppe 90.
 Chelidonensäure 95.
 Chemische Bestandteile 8.
 Chemische Reize 162.
 Chilisalpeter 68.
 Chinagerbsäure 94.
 Chinidin 98.
 Chinin 98.
 Chlor 9.
 Chlor als Nährstoff 55, 84.
 Chlorkalium als Nährstoff 85.
 Chlornatrium als Nährstoff 84.
 Chlorophyll 101, 124.
 Chlorophyll, Absorptionserscheinungen des 64.
 Chlorophyll, Fluoreszenz des 64.
 Chlorophyll zur Kohlensäure-Assimilation nötig 60.
 Chlorophyllan 62, 126.
 Chlorophyllgelb 102.
 Chlorophyllhaltige Parasiten 81.
 Chlorophyllkörner 63.
 Chlorophyllkörper 63.
 chlorophylllose Humusbewohner 79.
 Cinchonidin 98.
 Cinchonin 98.
 Circumnutation 164.
 Citren 96.
 Citronenöl 96.
 Citronensäure 95.
 Codein 98.
 Coffein 98.
 Goldicin 98.
 Collenchym 167.
 Conglutin 99.
 Convicin 99.
 Coumarin 97.
 Cuscutaceen 80.
 Cuticula 23.
 Cuticularisierung 106.
 Cuticularschichten 24.
 Cuticularsubstanz 96, 106.
 Cutin 96, 106.
 Cymol 97.

D.

Daturin 98.
 Dauergewebe 147.
 Dehnbarkeit 172.
 Denitrifikation 67, 141.

Dextrin 91.
 Dextrose 92.
 Diageotropismus 159.
 Diageiototropismus 160.
 Diastase 100, 128.
 Dichogamie 184.
 Dickenwachstum 146.
 Digitalin 94.
 Dillöl 96.
 Dimorphismus der Blüten 184.
 diöcische Pflanzen 183.
 Diosmose 16.
 Diphenylamin 68.
 Druckfestigkeit 166.
 Druckkraft 38.
 Drüsenhaare 130.

G.

echte Nährstoffe 55.
 ectotrophische Mykorrhiza 49.
 Eichengerbsäure 94.
 Eihülle 182.
 Eitern 182.
 eingeschlechtige Blüten 183.
 einhäufige Pflanzen 183.
 einzellige Pflanzen 1.
 Eisen 9.
 Eisen als Nährstoff 55, 89.
 Eisen Salze als Nährstoffe 89.
 Eiweißstoffe 11, 98, 103, 109.
 Eiweißstoffe als Pilznahrungsmittel 78.
 Eizelle 176, 182.
 Elementarorgane 1.
 Elemente 8.
 elternlose Zeugung 173.
 Embryo 182.
 Embryokügelchen 182.
 embryonales Gewebe 146.
 Embryosack 182.
 Emulsion 101.
 endogene Entstehung 149
 endophyte Parasiten 80.
 Endosperm 107, 183, 189.
 endotrophische Mykorrhiza 50.
 endständiger Vegetationspunkt 144.
 Entstehung der Pflanzenstoffe 103.
 Entstehung, endogene 149.
 Entstehung, exogene 147.
 Enzianbitter 94.
 Epidermis 23, 42, 45.
 epigäe Keimung 189.
 Epinastie 155.
 epiphyte Parasiten 80.
 erdbodenbewohnende Algen 71.
 Erdboden, wasserhaltende Kraft des 20.

Ernährung 8, 12.
 Erschütterungen beeinflussen die Transpiration 27.
 Erwerbung des Kohlenstoffs 58.
 Erwerbung des Sauerstoffs 58.
 Erwerbung des Wasserstoffs 58.
 Erythrodertrin 91.
 Erythrophyll 62, 126.
 Essiggärung 140.
 Essigsäure 95, 128.
 Etiollement 125.
 Etiolieren 155.
 Etiolin 125.
 Exine 179.
 Extremite 68.
 exogene Entstehung 147.
 Extraktivstoffe, bittere 11.

F.

Fäulnis 141.
 Fäulnisbakterien 77.
 Fäulnisbewohner 77.
 Faktoren des Wachstums 153.
 Farbstoffe 11, 101.
 Farbstoffgärungen 141.
 faulige Gärung 141.
 Federharz 96.
 Fermente 11, 100.
 Ferment, stärkebildendes oder stärkeum-
 bildendes 100, 128.
 Festigkeit 165.
 Festigkeitsmodul 172.
 Fette 95, 114.
 fette Öle 11, 95, 111, 114.
 fette Säuren 95.
 Fibrovasalstränge 27.
 Fibrovasalstränge, Verlauf der 27.
 Fichtennadelöl 96.
 filamentum 178.
 Fischguano 68.
 Flachwurzler 15.
 Fleischextrakt als Pilznahrungsmittel 78.
 fleischverdauende Pflanzen 82.
 flüchtige Öle 96.
 Flugapparate 186.
 Fluor 9.
 Fluorescenz des Chlorophylls 64.
 Formaldehyd 66.
 Fraginin 94.
 freier Stickstoff 70.
 Frischgewicht 9.
 Fruchtdefekte als Pilznahrungsmittel 78.
 Fruchtnoten 180.
 Fruchtzucker 92, 130.
 Frühlingsholz 31.

Frühtreiben 152.
 Fumar säure 95.
 funiculus 182.

G.

Gärung, faulige 141.
 Gärung, geistige 139.
 Galläpfelgerbsäure 94.
 Gallusgerbsäure 94.
 Gallus säure 94.
 Gefäßbündel 27.
 Gefäße 31.
 Gefäßscheide 34.
 geistige Gärung 139.
 Gelatine als Pilznahrungsmittel 78.
 Gelbsucht 89, 125.
 Gelenke 162.
 gemeiner Zucker 92.
 Geotropismus 157.
 Gerbsäuren 94.
 Gerbstoffe 94.
 geschlechtliche Befruchtung 176.
 geschlechtliche Reife 185.
 geschlechtliche Zeugung 175.
 Geschlechtszellen 176.
 Gesetz des Minimums 57.
 Gesetze der Nahrungsaufnahme 16.
 Getreide, Lagern des 172.
 Gewebe, embryonales 146.
 Gewebe, mechanische 166.
 Gewebespannungen 165.
 Giftpflanzen 98.
 Gips als Nährstoff 83.
 Gliadin 99.
 Globoide 109.
 Globuline 98.
 Glutamin 101.
 Gluten 99.
 Glutensfibrin 99.
 Glutentasein 99.
 Glycerin 95.
 Glycyrrhizin 94.
 Glykofoll als Nahrung 78.
 Glykofoll als Pilznahrungsmittel 78.
 Glykose 92, 114.
 Glykositide 11, 93.
 Griffel 180.
 Gründüngung 68.
 Gründüngungspflanzen 76.
 Guanin 100, 101.
 Guanin als Nahrung 78.
 Guanin als Pilznahrungsmittel 78.
 Guano als Nährstoff 84.
 Gummi 91, 133.
 Gummigänge 134.

Gummiharze 97, 133.
 Gummischläuche 134.

H.

Hastorgane 186.
 Hanföl 96.
 Harnsäure als Nahrung 78.
 Harnsäure als Pilznahrungsmittel 78.
 Harnstoff als Nahrung 78.
 Harnstoff als Pilznahrungsmittel 78.
 Harze 11, 97, 132.
 Harzgänge 132.
 Hauptwurzel 15.
 Heiligkeit, Einfluß auf Kohlensäure-Assimilation 64.
 Heliotropismus 159.
 Herbstholz 31.
 hermaphrodite Blüten 183.
 Hesperiden 96.
 Hesperidin 94.
 Hippursäure als Nahrung 78.
 Hippursäure als Pilznahrungsmittel 78.
 Hostäpfel 36.
 Holz der Laubhölzer 35.
 Holz der Nadelhölzer 35.
 Holzgummi 106.
 Holzkörper 30, 167.
 Holzparenchym 119.
 Holzstoff 106.
 Holzteil 27.
 Holzzellen 31, 34, 167.
 Honig 129.
 Hopfenbitter 94.
 Humus als Nahrung 78.
 humusbewohnende Pilze 77.
 Humusbewohner 78.
 Humusbewohner, chlorophylllose 79.
 Hybride 193.
 Hypochamin 98.
 Hypochlorin 126.
 hypogäe Keimung 188.
 Hyponastie 155.
 Hypoxanthin 100, 101.

I.

Jahresring 31, 149.
 Jaminische Kette 42.
 Japantampher 97.
 Jauche 68.
 illegitime Verbindung 184.
 Inhibition 16.
 innere Sekretionen 130, 131.
 Insektenfang 82.
 insektenfressende Pflanzen 82.

integumentum 182.
 intercalare Vegetationszone 146.
 intercellulare Sekretbehälter 131.
 Interzellulargänge 42.
 Intine 180.
 intramolekulare Atmung 138.
 Inulin 91, 114.
 Invertin 100.
 Iod 9.

K.

Käsestoffe 99.
 Kaffeegerbsäure 94.
 Kainit als Nährstoff 83, 86.
 Kalisalze als Nährstoffe 86.
 Kalium 9.
 Kalium als Nährstoffe 55, 86.
 Kalk, oxalsaurer 88.
 Kalksalze als Nährstoff 87.
 Kambiformzellen 118.
 Kambiumring 149.
 Kampherarten 97.
 Kapillarität 42.
 Kapillarkraft 42.
 Karnallit als Nährstoff 86.
 Karyotinese 5.
 Kaseine 99.
 Kautschuk 96.
 Keimbläschen 182.
 Keime 175.
 Keimfähigkeit 191.
 Keimkraft 191.
 Keimling 182.
 Keimmund 182.
 Keimruhe 189.
 Keimung 187.
 Keimung, epigäe 189.
 Keimung, hypogäe 188.
 Keimungsbedingungen 191.
 Keimungsprozeß 191.
 Kernfäden 5.
 Kerngummi 38, 134.
 Kernholz 31, 37.
 Kernkörperchen 4.
 Kernplatte 5.
 Kernteilung 5.
 Kieselpflanzen 85.
 Kieselsäure als Nährstoff 85.
 Kleber 99.
 Kleberfaserstoff 99.
 Kleberfaserstoff 99.
 Kleberproteinstoffe 99.
 Klee säure 95, 126.
 Klistostat 157.
 Knickfestigkeit 165.

Knoblauchöl 97.
 Knochen als Nährstoff 84.
 Knochenmehl 68.
 Knöllchenpilze 52.
 Knollen 174.
 Knospentern 182.
 Knospenzwiebeln 174.
 Kobalt 9.
 Kochsalz als Nährstoff 84.
 Kohlenhydrate 11, 90.
 Kohlenäure als Nährstoff 58.
 Kohlenäure-Assimilation 59.
 Kohlenäure-Assimilation, Produkte der 65.
 Kohlenäuregehalt, Einfluß auf Kohlenäure-Assimilation 65.
 Kohlenäure in der Luft 59.
 Kohlenäureerzeugung, Bedingungen der 63.
 Kohlenstoff 8.
 Kohlenstoff als Nährstoff 55.
 Kohlenstoff, Erwerbung des 58.
 Kohlenstoff, Kreislauf des 59.
 Kohlenwasserstoffe 96.
 Kolophonium 97.
 Kompost 68.
 Koniferin 94.
 Koniferenalkohol 94.
 Kontakteize 161.
 Kopaivabalsam 133.
 Kopal 133.
 Kopulation 176.
 Korkkambium 25.
 Korkschicht 25.
 Korkstoff 106.
 Korksubstanz 96.
 Kotyledonen 188.
 Kreatin als Nahrung 78.
 Kreatin als Pilznahrungsmittel 78.
 kreisende Mutation 164.
 Kreislauf des Kohlenstoffes 59.
 Kreislauf des Stickstoffs 76.
 Kreuzung 193.
 Krümelzucker 92.
 Kryptogamen 175.
 Krytalloide 109, 112.
 Kümmelöl 96, 97.
 Kupfer 9.
 Kurve des Wachstums 151.

L.

Laevulose 92.
 Lagern des Getreides 172.
 Landpflanzen 22.
 Laubhölzer, Holz der 35.
 Lebenserscheinungen, physiologische 142.
 legitime Verbindung 184.

Legumin 99.
 Leguminosen, Symbiose der 50.
 Leimzotten 131.
 Leinöl 96.
 Leitbündel 27.
 Lenticellen 47.
 Leucin 101.
 Leucin als Nahrung 78.
 Libriformzellen 31, 34, 167.
 Licht beeinflußt das Wachsen 154.
 Licht beeinflußt die Atmung 137.
 Licht beeinflußt die Festigung der Pflanze 172.
 Lichtlage 161.
 Licht, zur Chlorophyllbildung nötig 124.
 Licht, zur Kohlensäure-Assimilation nötig 63.
 Lignin 106.
 Lins-*Simon* 96.
 Lithium 9.
 Loranthaceen 81.
 Luftdruck beeinflußt die Atmung 136.
 Luftfeuchtigkeit beeinflußt die Atmung 137.
 Lupinin 94.
 Lupulin 94.
 Lyngene Sekretbehälter 131.

M.

männliche Zelle 176.
 Magnesiumsalze als Nährstoffe 89.
 Magnesium 9.
 Magnesium als Nährstoff 55, 89.
 Maltose 92.
 Malzzucker 92.
 Mangan 9.
 Mannit 93.
 Markstrahlen 34, 119.
 Mastix 133.
 mechanische Gewebe 166.
 Mesonsäure 95.
 Menthakampher 97.
 Menthol 97.
 Meristem 4, 146.
 Mesophyll 42, 63.
 micropyle 182.
 Milchsäuregärung 140.
 Milchsaft 133.
 Milchsaftströhen 133.
 Millon's Reagens 98.
 mineralische Nährstoffe 83.
 mineralische Stoffe 10.
 Minimum, Gesetz des 57.
 Milchfrüchte 194.
 Milchlinge 193.
 Mohnöl 96.
 monöcische Pflanzen 183.

Moor- und Heidesträucher, Mykorrhizen der 50.
 Morphium 98.
 Mucedin 99.
 Muskatbutter 96.
 Mutterkern 5.
 Mutterzelle 4.
 Mykorrhiza 49.
 Mykorrhiza, ectotrophische 49.
 Mykorrhiza, endotrophische 50.
 Mykorrhizen 78, 79.
 Mykorrhizen der Moor- und Heidesträucher 50.
 Mykorrhizen der Waldbäume 47.
 Mykorrhizen der Wiesenkräuter 50.
 Mykorrhizenpilze 49.
 Mykose 92.
 Myosin 99.
 Myronsäure 93.
 Myrosin 101.
 Myrrhe 133.

N.

Nabelstrang 182.
 Nadelholz, Holz der 35.
 Nährgewebe 107, 183, 189.
 Nährstoffe, echte 55.
 Nährstoffe, mineralische 83.
 Nährstoffgehalt des Bodens beeinflußt das Wachsen 156.
 Nahrung, Aufnahme der 12.
 Nahrungsaufnahme, Gesetze der 16.
 Nahrungsstoffe, Aufnahme gasförmiger 42.
 Narbe 180.
 Narcein 98.
 Narcotin 98.
 Natrium 9.
 Nebenwurzeln 15.
 Nektar 129.
 Nektarien 129, 184.
 Nerven des Blattes 29.
 Nickel 9.
 Nitrate als Nährstoffe 66.
 Nitrifikation 141.
 Nitrifikation des Ammoniake 67.
 Nucleine 99, 103.
 Nucleolen 4.
 nucleus 4.
 Mutationen 164.
 Mutation, freilebende 164.
 Mutation, rotierende 164.

O.

Oberhaut 42.
 Oberhautsekretionen 130.
 Ole, ätherische 11, 96, 129, 130, 132.

Öle, fette 11, 95, 111, 114.
 Öle, flüchtige 96.
 Ölgänge 132.
 Ölpflanzen 111.
 Ökalisieren 175.
 Ölein 95.
 Öleinsäure 95.
 Olivenöl 96.
 Opium 98.
 organische Säuren 94, 126.
 organische Stickstoffverbindungen als Nah-
 rung 78.
 organische Substanz 10.
 organische Verbindungen als Nahrung 76.
 Orobanchaceen 81.
 Osmose 16.
 ovarium 180.
 ovula 180.
 Oxalsäure 95, 126.
 oxalsaure Kalk 88.

P.

Paarung der Schwärmsporen 176.
 Palissadenzellen 43.
 Palmenfette 96.
 Palmitine 96.
 Palmitinsäure 96.
 panachierte Blätter 125.
 Papaverin 98.
 Parasiten 79.
 Parasiten, chlorophyllhaltige 81.
 Parasiten, endophyte 80.
 Parasiten, epiphyte 80.
 parasitische Phanerogamen 80.
 parasitische Pilze 80.
 Parasitismus 79.
 Parenchymzellen 166.
 Pektinkörper 92.
 Pepsin 100, 128.
 Peptone 98.
 Peptone als Pilznahrungsmittel 78.
 Periderm 25, 47.
 Periode des Wachstums 151.
 periodische Bewegungen 162.
 Perubalsam 133.
 Perugano 68.
 Pfefferminzöl 97.
 Pflanzen, autotrophe 47.
 Pflanzen, blühsche 183.
 Pflanzen, einhäufige 183.
 Pflanzen, einzellige 1.
 Pflanzen, fleischverdauliche 82.
 Pflanzen, insektenfressende 82.
 Pflanzen, monöische 183.
 Pflanzen, Vermehrung der 173.

Pflanzen, zweihäufige 183.
 Pflanzenbasen 97.
 Pflanzenelweiß 98.
 Pflanzenfette 11.
 Pflanzenfibrin 99.
 Pflanzengallertene 92.
 Pflanzentafelne 99.
 Pflanzenleim 99.
 Pflanzensäuren 130.
 Pflanzenschleime 91.
 Pflanzentoffe 90.
 Pflanzentoffe, Bedeutung der 103.
 Pflanzentoffe, Entstehung der 103.
 Pfropfen 175.
 Pfropfhybride 193.
 Phanerogamen 175.
 Phanerogamen, parasitische 80.
 Phloem 117.
 Phloridzin 93.
 Phosphor 9.
 Phosphor als Nährstoff 55, 83.
 Phosphorite als Nährstoffe 84.
 Phosphorsäure als Nährstoff 83.
 phosphorsaure Kalk als Nährstoff 84.
 physikalische Lebenserscheinungen 142.
 Phytoalbumin 98.
 Pilzcellulose 107.
 Pilze, humusbewohnende 77.
 Pilze, parasitische 80.
 Pilze, saprophyte 77.
 Pilzkammern 53.
 Pilzwurzel 49.
 Pinen 96.
 Pistill 178, 180.
 Plumula 187.
 Pollenhaut 179.
 Pollenkörner 178.
 Pollensäcke 178.
 Pollenschlauch 177, 182.
 Pomeranzöl 96.
 Populin 93.
 Produkte der Kohlenäure-Assimilation 65.
 Propylamin als Pilznahrungsmittel 78.
 Prosenchymzellen 166.
 protandrisch 184.
 Proteine 98.
 Proteinstoffe 11.
 protogynisch 184.
 Protoplasma 1, 103.
 Protoplasma, Rotation des 4.
 Protoplasma, Zirkulation des 4.
 Pseudozucker 93.

Q.

Quassienbitter 94.

Quecksilber 9.
 Quellung 187.

R.

Rafflesiaceen 81.
 Ranken, Bewegungen der 161.
 Raphiden 127.
 Rapsöl 96.
 Rassen 192.
 Reaktionsbewegungen 157.
 Rechts-Limonen 96.
 Regulierung der Verdunstungsstärke 23.
 Reife, geschlechtliche 185.
 Reizbewegungen 157, 161.
 Reize, chemische 162.
 Reservecellulose 112.
 Reservestoffbehälter 107.
 Reservestoffe 107.
 Reservestoffe, Auswanderung der 123.
 Respiration 134.
 Rhinanthaceen 81.
 Rhizobium 52.
 Ringgefäße 33.
 Rippen des Blattes 29.
 Römisch-Kümmelöl 97.
 Rohrzucker 92, 114.
 Rohrzucker-Gruppe 92.
 Rotation des Protoplasmas 4.
 rotierende Rotation 164.
 Rübenzucker 92.
 Rubidium 9.

S.

Saccharose 92.
 Säuren, fette 95.
 Säuren, organische 94, 126.
 Säuren, vegetabilische 11, 94.
 Saßraum 2.
 Saßsteigen 40.
 Salicin 93.
 Salpeterdüngung 68.
 Salpetergärung 141.
 Salpeterpflanzen 69.
 Salpetersäure als Nährstoff 66.
 Salpetersäure, Assimilation der 68.
 Salzpflanzen 84.
 Samen 176.
 Samenblätter 188.
 Samenfaden 176.
 Samenknoten 180.
 Samenschale 183.
 Samen, Verbreitungsmittel der 186.

Sandkulturen 55.
 Santalacen 81.
 Saprophyten 77.
 saprophyte Pilze 77.
 Saprophytismus 77.
 Sauerstoff 9.
 Sauerstoff als Reinigungsbedingung 191.
 Sauerstoff als Nährstoff 55.
 Sauerstoff beeinflußt die Atmung 136.
 Sauerstoff, Erwerbung des 58.
 sauerstoffhaltige ätherische Öle 97.
 Saugkraft 38, 40.
 Saugorgan 189.
 Saugwurzeln 12.
 Schildchen 189.
 Schimmelpilze 77.
 schizogene Sekretbehälter 131.
 Schlafbewegungen 162.
 Schleim 133.
 Schleimepidermis 131.
 Schleimharze 97.
 Schleinzucker 92.
 Schließzellen 45.
 Schlingpflanzen, Winden der 164.
 Schmarotzer 79.
 Schwärmisporen, Paarung der 176.
 Schwammparenchym 43.
 Schwammzucker 92.
 Schwefel 9.
 Schwefel als Nährstoff 55, 83.
 schwefelhaltige ätherische Öle 97.
 Schwefelsäure als Nährstoff 83.
 schwefelsaures Ammoniak als Nährstoff 83.
 Schwellung 165.
 Schwerkraft beeinflußt das Wachsen 155.
 Sclerenchymzellen 167.
 scutellum 189.
 Seidengewächse 80.
 Seitenwurzeln 15.
 Sekretbehälter, intercellulare 131.
 Sekretbehälter, hyaline 131.
 Sekretbehälter, schizogene 131.
 Sekrete 130.
 Sekretionen, innere 130, 131.
 Sekretschläuche 132.
 Selbstwärmung 138.
 Selen 9.
 Senföl 97.
 Sexualität 176.
 Siebröhren 117.
 Siebteil 117.
 Silber 9.
 Silicium 9.
 Silicium als Nährstoff 55, 85.
 Sinistrin 91.
 Solanin 93.

Sonnenblumenöl 96.
 Sorten 192.
 Spaltöffnungen 23, 45.
 Spermatozoid 176.
 Sphärokrystalle 91.
 Spielarten 192.
 Spiralgefäße 33.
 Splint 31.
 Spontane Bewegungen 157.
 Spontane Zeugung 173.
 Sporen 175.
 Sporenpflanzen 175.
 Sprossung 173.
 Stärkergummi 91.
 Stärkekleister 91.
 Stärkelösendes Ferment 128.
 Stärkemehl 91, 111, 112.
 Stärkering 116.
 Stärkescheide 116.
 Stärke, transitorische 105.
 Stärkeumbildende Fermente 100.
 Stallmist 68.
 stamina 178.
 Stammform 192.
 Staßfurter Düngesalze als Nährstoffe 86.
 Staubbeutel 178.
 Staubblätter 178.
 Staubfäden 178.
 Staubgefäße 178.
 Stearine 96.
 Stearinsäure 96.
 Stecklinge 174.
 Stempel 178, 180.
 Stickstoff 9.
 Stickstoff als Nährstoff 55.
 Stickstoff als Nahrung 70.
 Stickstoff, freier 70.
 Stickstoff, Kreislauf des 76.
 Stickstoffsammlung 75.
 Stickstoffverbindungen, organische, als Nahrung 78.
 stigma 180.
 Stoffe, mineralische 10.
 Stoffwanderung 120.
 Stoffwechsel 8.
 Stoßreize 162.
 Strontium 9.
 Strychnin 98.
 Suberin 96, 106.
 Substanz, organische 10.
 Substanz, verbrennliche 10.
 Superphosphat als Nährstoff 84.
 Sulfestren 96.
 Symbiose 47.
 Symbiose der Leguminosen 50, 72.
 Synanthrose 92.

T.

Tagesperiode der Wachstumsgehwwindigkeit 154.
 Tannin 94.
 Teilungsgewebe 4, 146.
 Temperatur als Reimungsbedingung 191.
 Temperatur beeinflusst das Wachstum 153.
 Temperatur beeinflusst die Atmung 137.
 Temperatur beeinflusst die Transpiration 26.
 Temperatur, Einfluß auf Kohlensäure-Assimilation 65.
 Temperaturgrenze des Wachstums 153.
 Temperatur, zur Chlorophyllbildung nötig 125.
 terminaler Vegetationspunkt 144.
 Terpene 96.
 Terpentin 97.
 Terpentinöl 96.
 Thallium 9.
 Thebain 98.
 Thein 98.
 Thomaschlacke als Nährstoff 84.
 Thyllen 38.
 Thymianöl 97.
 Thymol 97.
 Tiefwurser 15.
 Tierblütler 184.
 Titan 9.
 Tochterkerne 5.
 Tochterzellen 4.
 Tolubalsam 133.
 Tracheen 31.
 Tracheiden 31, 34, 36.
 Tragmodul 172.
 transitorische Stärke 105.
 Transpiration 22.
 Transpiration, abhängig von äußeren Verhältnissen 26.
 Transport der Assimilationsprodukte 121.
 Transversalgeotropismus 159.
 Transversalheliotropismus 160.
 Traubensäure als Pilznahrungsmittel 77.
 Traubenzucker 92, 121, 123, 130.
 Traubenzucker-Gruppe 92.
 Trockensubstanz 9.
 Trüpfel 36.
 Trüpfelgefäße 33.
 Turgor 165.
 Tyrosin 101.
 Tyrosin als Nahrung 78.

II.

Urzeugung 173.

B.

Vanillin 94.
 Varietäten 192.
 Variiren 192.
 vegetabilische Säuren 11, 94.
 Vegetationskegel 144.
 Vegetationspunkte 4, 143.
 Vegetationspunkt, endständiger 144.
 Vegetationspunkt, terminaler 144.
 Vegetationsring 146.
 Vegetationszone, basale 146.
 Vegetationszone, intercalare 146.
 vegetative Vermehrung 173.
 Veratrin 98.
 Verbindung, illegitime 184.
 Verbindung, legitime 184.
 Verbreitungsmittel der Samen 186.
 verbrennliche Substanz 10.
 Verdickungsring 146, 149.
 Verdunstung 22.
 Verdunstungsstärke, Regulierung der 23.
 Verdunstung, Verschiedenheit der 25.
 Verebeln 174.
 Vererbung 192.
 Vergeilen 125, 155.
 Verholzung 106.
 Verfortung 106.
 Verlauf der Fibrovasalstränge 27.
 Vermehrung der Pflanzen 173.
 Vermehrung, vegetative 173.
 Verschiedenheit der Verdunstung 25.
 Vicin 99.
 Vinylsulfid 97.
 Vitellin 99.

W.

Wachholderöl 96.
 Wachs 96.
 Wachsausscheidung 25, 130.
 Wachsen, Kurve des 151.
 Wachsen, Periode des 151.
 Wachstum 142.
 Wachstum, Faktoren des 153.
 Wachstumsdauer 151.
 Wachstumsgeschwindigkeit 150, 154.
 Wachstumsgeschwindigkeit, Tagesperiode der 154.
 Wachstumsgröße 149, 154.
 Wachstum, Temperaturgrenze des 153.
 Wärmebildung 138.
 Wahlvermögen 18.
 Waldbäume, Mykorrhizen der 47.
 Wanderungsstoffe 120.

Wasser 9.
 Wasser als Keimungsbedingung 191.
 Wasser als Nährstoff 58.
 Wasser, Aufnahme des 12.
 Wasser, Aufsteigen des 27.
 Wasserdampfgehalt der Luft beeinflusst die Transpiration 26.
 Wassergehalt 9.
 Wassergehalt des Bodens beeinflusst das Wachsen 156.
 Wassergehalt des Bodens beeinflusst die Transpiration 26.
 wasserhaltende Kraft des Erdbodens 20.
 Wasserkulturen 55.
 Wasserspalten 40.
 Wasserstoff 8.
 Wasserstoff als Nährstoff 55.
 Wasserstoffentwicklung 139.
 Wasserstoff, Erwerbung des 58.
 Wassertropienausscheidung 40.
 weibliche Zelle 176.
 Weichbast 117.
 Weidenbitter 93.
 Weihrauch 133.
 Weinsäure 95.
 Weinsäure als Pilznahrungsmittel 77.
 Weinstein säure 95.
 Wermutbitter 94.
 Wiesenkräuter, Mykorrhizen der 50.
 Windblütler 184.
 Winden der Schlingpflanzen 164.
 Winterruhe 152.
 Wirte 79.
 Würgerarten 81.
 Würzelschen 187.
 Wundgummi 38, 134.
 Wurzel, auflösende Kraft der 21.
 Wurzelabscheidungen 21.
 Wurzelbruch 38.
 Wurzelepidermis 14.
 Wurzelhaare 14.
 Wurzelhaube 143, 147.
 Wurzelknöllchen 51, 72.
 Wurzelmitte 147.
 Wurzeln 12.
 Wurzelparasiten 81.
 Wurzelspitze 15.
 Wurzelstöcke 174.
 Wurzelthätigkeiten 18.

X.

Xanthin 100, 101, 102, 129.
 Xanthophyll 62, 102, 126.
 Xylogen 106.

3.

- Zellbildung 4.
 Zelle, männliche 176.
 Zelle, weibliche 176.
 Zellen 1.
 Zellohaut 1, 104.
 Zellkern 4.
 Zellmembran 1.
 Zellsaft 3.
 Zellstoff 91.
 Zellteilung 5.
 Zeugung, elternlose 173.
 Zeugung, geschlechtliche 175.
 Zeugung, spontane 173.
 Zimmtaldehyd 97.
 Zimmtöl 97.
 Zint 9.
 Zinn 9.
 Zirkulation des Protoplasmas 4.
 Zucker 130.
 Zucker als Nahrungsmittel 77.
 Zuckerarten 92.
 Zucker, gemeiner 92.
 Züchtung 192.
 Zugfestigkeit 166.
 zweihäufige Pflanzen 183.
 Zwerge 156.
 Zwitterblüten 183.
 Zygosporien 176.

Seven, Dood van Water Dood.

Verlagsbuchhandlung Paul Parey in Berlin SW., Hedemannstrasse 10.

Grundriss
der
Gesteins- und Bodenkunde
zum Gebrauch an
landwirtschaftlichen und technischen Hochschulen

von
Dr. H. Gruner,
Professor d. Mineralogie, Geologie u. Bodenkunde an der königl. landwirtsch. Hochschule zu Berlin.
Gebunden, Preis 12 M.

Handbuch des Futterbaues.

Von
Dr. Hugo Werner,
Professor an der landwirtschaftlichen Hochschule zu Berlin
Zweite, vollständig neubearbeitete Auflage.
Mit 79 Textabbildungen. Gebunden, Preis 10 M.

Saat und Pflege der
landwirtschaftlichen Kulturpflanzen.
Handbuch für die Praxis

von
Dr. Ewald Wollny,
o. ö. Professor der Landwirtschaft an der technischen Hochschule in München.
Mit Textabbildungen. Gebunden, Preis 20 M.

Landwirtschaftliche Samenkunde.

Bearbeitet von **Dr. E. O. Harz,**
Professor in München.
Mit 201 in den Text gedruckten Original-Holzschnitten.
Neue Ausgabe. Gebunden, Preis 12 M.

Handbuch des Getreidebaues.

Erster Band:
Arten und Varietäten,

bearbeitet von
Dr. F. Koernicke,
Prof. in Poppelsdorf.

Zweiter Band:
Sorten und Anbau,

bearbeitet von
Dr. Hugo Werner,
Prof. in Berlin.

Mit 10 Kupferdrucktafeln.
Zwei starke Bände in Lexikon-Oktav. Gebunden, Preis 20 M.

Zu beziehen durch jede Buchhandlung.

Verlagsbuchhandlung Paul Parey in Berlin SW., Hedemannstrasse 10.

Handbuch der Pflanzenkrankheiten.

Für Landwirte, Gärtner, Forstleute und Botaniker

bearbeitet von

Dr. Paul Sorauer,

Dirigent der pflanzenphysiologischen Versuchsstation zu Proskau.

Zweite, neubearbeitete Auflage.

I. Teil: Die nicht parasitären Krankheiten.

Mit 19 lithogr. Tafeln und 61 Textabbildungen. Gebunden, Preis 20 M.

II. Teil: Die parasitären Krankheiten.

Mit 18 lithogr. Tafeln und 21 Textabbildungen. Gebunden, Preis 14 M.

Atlas der Pflanzenkrankheiten.

Herausgegeben von

Dr. Paul Sorauer,

Dirigent der pflanzenphysiologischen Versuchsstation zu Proskau.

Farbendruck-Tafeln im Format von 40×26 cm nebst Text.

Sechs Hefte mit je 8 Tafeln. In Mappe, Preis à 20 M.

Die Schäden der einheimischen Kulturpflanzen

durch tierische und pflanzliche Schmarotzer sowie durch andere Einflüsse.

Für die Praxis bearbeitet von

Dr. Paul Sorauer,

Dirigent der pflanzenphysiologischen Versuchsstation zu Proskau.

Gebunden, Preis 5 M.

Handbuch des landwirtschaftlichen Pflanzenbaues.

Aus der Praxis für die Praxis bearbeitet

von

A. Hildebrand,

erster Lehrer der Landwirtschaft an der Landwirtschaftsschule zu Hildesheim.

Mit 233 Textabbildungen. Gebunden, Preis 8 M.

Illustrierte Flora von Deutschland.

Zum Gebrauche auf Exkursionen, in Schulen und beim Selbstunterricht.

Bearbeitet von **Dr. A. Garcke,** Professor in Berlin.

Siebzehnte, neubearbeitete Auflage,

vermehrt durch 759 Abbildungen.

Gebunden, Preis 5 M.

Zu beziehen durch jede Buchhandlung.

LIBRARY
~~FACULTY OF FORESTRY~~
UNIVERSITY OF TORONTO

QK
711
F7
1896

Frank, H. B.
Lehrbuch der
Pflanzenphysiologie
2., neubearb. Aufl.

BioMed

PLEASE DO NOT REMOVE
CARDS OR SLIPS FROM THIS POCKET

UNIVERSITY OF TORONTO LIBRARY

[93676]

LIBRARY

~~UNIVERSITY OF TORONTO~~
UNIVERSITY OF TORONTO