

Wind und Pflanzenwelt. Eine Studie.

Von

Günther H. Kroll, Berlin.

Die vorliegende Arbeit ist in der Absicht unternommen, möglichst erschöpfend alle die Beziehungen aufzuzeigen, welche zwischen Wind und Pflanzenwelt bestehen.

Ich halte es für zweckmäßig, zunächst eine einleitende Übersicht über diejenigen Werke zu geben, in denen, wenn auch teilweise nur sporadisch, sich Beobachtungen über Windwirkungen im Florenreich finden.

Literatur.

- Warming, E., Lehrbuch der ökologischen Pflanzengeographie. Berlin 1902.
- Holtermann, C., Schwendeners Vorlesungen über mechanische Probleme der Botanik. Leipzig 1909.
- Preuß, H., Die Vegetationsverhältnisse der deutschen Ostseeküste. Königsberger Dissert. Danzig 1911.
- Strasburger, E., Noll, F., Schenck, H. u. Karsten, G., Lehrbuch der Botanik für Hochschulen. Jena 1908.
- Schröter, C., Das Pflanzenleben der Alpen. Zürich 1908.
- Imhof, E., Die Waldgrenze in der Schweiz. (Gerlands Beitr. z. Geophys. Bd. IV. H. 3. Leipzig 1900.
- Solms-Laubach, H. Graf zu, Die leitenden Gesichtspunkte einer allgemeinen Pflanzengeographie. Leipzig 1905.
- Schübeler, Die Pflanzenwelt Norwegens. Christiania 1873—75.
- Sorauer, P., Handbuch der Pflanzenkrankheiten. Berlin 1909.
- Preda, L., Effeti del libeccio su alcune piante legnose che crescono lungo la costa livornese. (Bull. d. Soc. Bot. Ital. 1901. p. 381 ff.)
- Hansen, A., Flora. Bd. 93. 1904. H. 1.)
- Kihlmann, O., Pflanzenbiologische Studien in Russisch-Lappland. (Acta Soc. pro Fauna et Flora Fennica. T. VI. 1890. Nr. 3.)

- Gräbner, P., Lehrbuch der allgemeinen Pflanzengeographie. Leipzig 1910.
 — Pflanzengeographie. Leipzig 1909.
- Goebel, K., Pflanzenbiologische Schilderungen. Bd. II. Marburg 1891.
- Borggreve, B., Über die Einwirkung des Sturmes auf die Baumvegetation.
 (Abhandl. d. naturw. Ver. Bremen. 1872.)
- Franke, B., Die Pflanzenkrankheiten. (Handb. d. Botan. von A. Schenk.)
 Bd. I. 1881.)
- Focke, O., Untersuchungen über die Vegetation des nordwestdeutschen Tieflandes.
 (Abh. d. naturw. Ver. Bremen. Bd. II. 1871.)
- Middendorf, A. v., Reise in den äußersten Norden und Osten Sibiriens. Übersicht der Natur Nord- und Ost-Sibiriens. Lief. IV. Die Gewächse Sibiriens. 1864.
- Knuth, P., Blumen und Insekten auf den nordfriesischen Inseln. Kiel u. Leipzig 1894.
 — Handbuch der Blütenbiologie. Leipzig 1898.
- Buchenau, F., Über die Vegetationsverhältnisse des Halms u. s. w. (Abh. d. naturw. Ver. Bremen. 1889.)
- Schimper, W., Pflanzengeographie. Jena.
 — Die indo-malayische Strandflora. Jena 1891.
- Christ, H., Vegetation und Flora der kanarischen Inseln. (Bot. Jahrb. VI. 1885.)
- Grisebach, A., Die Vegetation der Erde. Bd. II. Leipzig 1872.
- Volkens, G., Die Flora der ägyptisch-arabischen Wüste. 1887.
- Reinke, J., Die ostfriesischen Inseln. Studien über Küstenbildung u. Küstenzerstörung. (Wissenschaftl. Meeresuntersuch. N. F. X. Ergänzungsh. Kiel 1909.)
- Engler, A., Die Pflanzenwelt Afrikas. (Die Vegetation der Erde von Engler u. Drude. Leipzig 1910.)
- Marloth, Die Narras. *Acanthosicyos horrida* Welw. u. s. w. (Bot. Jahrb. IX. 1888.)
- Jentzsch, Geologie. (Handb. d. deutsch. Dünenbaues v. J. Gerhardt. Berlin 1900.)
- Wahnschaffe, F., Die Oberflächengestaltung des norddeutschen Flachlandes. Stuttgart 1909.)
- Keilhack, Die Wanderdünen Hinterpommerns. (Prometheus. V. 1894.)
- Huth, E., Steppenläufer, Windhexen und andere Wirbelkräuter. (Helios. IX. Berlin 1892.)
- Hildebrand, F., Die Verbreitungsmittel der Pflanzen. Leipzig 1873.
- Wildenow, L., Grundriß der Kräuterkunde. Bd. I. Berlin 1831.
- Kerner, A., Der Einfluß der Winde auf die Verbreitung der Samen im Hochgebirge. (Zeitschr. d. deutsch. Alpenver. 1871.)
- Kny, Über die Flora ozeanischer Inseln. (Zeitschr. d. Gesellsch. f. Erdk. zu Berlin. Bd. II. 1867. H. 3.)
- Klein, H., Die botanischen Naturdenkmäler des Großherzogtums Baden u. s. w. Karlsruhe 1904.

Um eine übersichtliche Behandlung des Themas zu ermöglichen, teile ich die Pflanzenwelt ein in Meeres- und Festlandvegetation, wobei ich unter letzterer auch die der ozeanischen Inseln verstehe.

In der Pflanzenwelt des Meeres macht sich der Einfluß des Windes nur mittelbar bemerkbar. Wandern wir an einer Meeresküste entlang, so sehen wir allenthalben aufs Trockene geschleuderte organische und anorganische Massen. Unter ersteren nun nehmen wir zahlreiche Pflanzenteile, auch wohl ganze Pflanzen wahr, die, von ihrem Standort losgerissen oder auch schon frei im Meere schwimmend, infolge der Einwirkung des Windes auf die Bewegung der Wasserfläche herbeigeführt worden sind. Wir haben es hier demnach mit mechanischen Windwirkungen zu tun. Die Gewächse, die freischwimmend der Oberflächzone angehören, werden beständig durch den Wellenschlag geschüttelt und gestreckt. Sie müssen deshalb, um nicht in kleine Stücke zertrennt zu werden, Schutzmittel hiergegen besitzen. Es bilden sich daher langgestreckte, schmale Formen aus, wie sie uns in den Fucaceen entgegentreten. Kalkinkrustationen werden von zahlreichen Algen zur Festigung ihres Körpers benutzt. Andere Meerespflanzen, die feststehend dem Anprall der Wogen standzuhalten haben, werden in ähnlicher Weise umgestaltet. Auch hier treten bandförmige Organe auf, z. B. bei *Zostera* das bandartige Blatt. Ferner kommt es zur Ausbildung von mechanischem Gewebe, welches im Zentrum des Stengels zusammengedrängt wird. Endlich besitzen gewisse Algen Verstärkungsrhizoiden in den unteren Teilen des Thallus.

Nun gibt es aber auch Stellen im Meere, wo der Einfluß des Windes jedes Wachstum und Gedeihen wenigstens feststehender Pflanzen unmöglich macht; es sind dies namentlich die flacheren Küstenstriche, wo wegen der geringen Wassertiefe eine beständige Veränderung des Meeresbodens vor sich geht, und wo infolgedessen keine Pflanze festen Fuß fassen kann. Dagegen entsteht bei denselben Bodenverhältnissen, wenn nur die verderbliche Wirkung des Windes ausgeschaltet ist, eine üppige Vegetation. So kommen Matten von *Zostera marina* und *Z. nana* besonders in windgeschützten, sanft absteigenden Meeresbuchten vor, z. B. in den schleswig-holsteinschen Föhrden.

Sehr wichtig für die Verteilung der Meerespflanzen wird der Einfluß des Windes auch dadurch, daß er vermittelt der Wellenbewegungen den Pflanzen neue Nährstoffe und neuen Sauerstoff zuführt. Wie groß dieser Einfluß ist, zeigen Hansteens Untersuchungen, der eine infolge der verschiedenen Sauerstoff- und Nahrungszufuhr außerhalb und innerhalb der norwegischen Schären gänzlich verschiedene Meeresflora feststellte.

In anderer Weise beeinflußt der Wind die Verteilung der Meerespflanzen, indem er losgerissene Stücke, Sporen oder Samen von solchen über das Meer hintreibt, dadurch neue Standorte schaffend. Ferner bewirkt er Befruchtung bei den submers blühenden *Zostera*-arten, indem er den fadenförmig gestalteten Pollen mit den Narben vermittelt der Wellenbewegungen in Berührung bringt.

In Binnengewässern zeigen sich analoge Verhältnisse. Auch hier finden wir Anpassungen an Wasserbewegungen (Potamogeton-Arten), auch hier finden Verbreitung und Erschließung neuer Standorte durch den Wind statt; auch die Befruchtung vieler Süßwasser-

pflanzen übernimmt er. So überführt er den Pollen bei *Zannichellia*, *Callitriche* und *Najas* und treibt die kleinen, sich losreißenden männlichen Blüten von *Vallisneria* zu den auf der Wasseroberfläche schwimmenden weiblichen hin.

Wir kommen zur Festlandvegetation.

Wandern wir an unserem heimischen Ostseestrände entlang, so bemerken wir, daß unter dem Einfluß der häufigen Seewinde die Küstenlandschaft ein ganz eigenartiges Gepräge erhalten hat: die dem Meere zu stehenden Bäume sind niedrig, die Stämme in der herrschenden Windrichtung gebogen, so daß sie einen exzentrischen Querschnitt haben, dessen größter Radius die herrschende Windrichtung angibt. Die Äste sind gekrümmt und verbogen, die Sprosse meist kurz und verkrüppelt, namentlich auf der Luvseite, wo sie sogar meist absterben, so daß die Bäume auf dieser Seite wie geschoren aussehen. Ist die Gewalt der herrschenden Winde sehr groß, so sinkt der Wald auf der Windseite zu einem Gestrüpp herab, welches sich schließlich in einzelnstehende, vorgeschobene Individuen auflöst. Diese Art der Windwirkung findet sich nun nicht nur an Küsten unseres und anderer Länder, sondern sie tritt auch überall da auf, wo der Wind ungehindert über freie Flächen wehen kann. So zeigt sie sich auch im Gebirge, wo allmählich der Hochwald in Zwergbaumgestrüppe übergeht, die ihrerseits wieder sich in Matten und Felsenfluren verlieren. Solche Gestrüppe sind die Krummholz- oder Legföhrengestrüppe der Hochalpen, die von *Pinus montana*, f. *Pumilio*, f. *uncinata*, f. *Mughus* gebildet werden. Auf den hohen Gebirgen Japans findet sich eine von *Pinus parviflora*, *Betula*, *Alnus viridis* u. a. gebildete Gestrüppregion in 2200—2500 m Höhe als Baumgrenze. In den antarktischen Gegenden Amerikas bilden *Nothofagus*-Arten derartige Grenzgesträuche. Andererseits kann auch der geschlossene Wald plötzlich eine Grenze finden, wie das in den Waldkarpathen an der Huzsla bei 1300 m Höhe der Fall ist, wo ein geschlossener Buchenkrüppelwald die Grenzregion bildet.

Je stärker nun in Gebirgen die Windwirkung ist, um so tiefer wird die Baumgrenze herabgedrückt, so z. B. in den sturmreichen Quertälern am Nordabfall der Alpen, wo Nordwind und Föhn mit verheerender Wucht einherbrausen. In Jütland bezeichnen niedrige, krüppelhafte Buchenbestände, die sich zu dichten Verhauen (Porken) zusammenschließen, die äußerste Waldgrenze nach Westen zu. Sie steigen allmählich gegen Osten an, so daß sie dem dahinterliegenden Walde genügenden Windschutz gewähren, demzufolge er sich voll entwickeln kann. Wo ein derartiger Windschutz fehlt, wie auf dem Plateau der normannischen Insel Sark, kommt kein Baumwuchs zustande. Hier gedeihen Bäume nur in Mulden und Vertiefungen, wo sie ihre Kronen jedoch niemals über die Ränder einer solchen Einsenkung emporzuheben vermögen. Das oben geschilderte Ansteigen des Waldes kann nun auch anstatt in dichten Beständen in anderer Weise vor sich gehen. So ordnen sich die Fichten im Gudbrandsdal in Norwegen an dem Winde stark ausgesetzten Stellen so an, daß ein Mutterstamm durch Absenker der Äste

Tochterstämme erzeugt, die eine Reihe hinter dem Mutterstamme bilden. Nur dadurch also, daß dieser dem Nachwuchs den erforderlichen Windschutz gewährt, kann sich derselbe entwickeln. Hierbei tritt eine Beugung der Bäume, namentlich des Mutterstammes, ein. Eine solche einseitige Wachstumsbeeinflussung zeigt sich auch an den Bäumen der norwegischen Westküste, welche sämtlich unter der Einwirkung vorwiegend westlicher Seewinde nach Osten zu geneigt sind. Dieser schiefe Wuchs (Säbelwuchs) kommt dadurch zustande, daß in jedem Jahre die jungen Triebe nach der dem Winde abgewendeten Seite hin verbogen werden. Schöne Darstellungen solcher einseitigen Deformierung finden sich bei Klein. Werden nun im Frühjahr nicht nur die neuen Triebe nach einer Richtung hin gebogen, sondern auch am Höherwachsen gehindert, so macht sich dies durch vermehrtes Wachstum von Seitensprossen bemerkbar. So sieht man an der livornesischen Küste *Juniperus phoenicea* und *Tamarix gallica* in verbogenen Formen sowie Zweige von *Phillyrea* und anderen Gesträuchen, die miteinander verstrickt sind, am Boden hinkriechen und sich ihm anschmiegen. Ähnliche Erscheinungen schildert Hansen für die Insel St. Honorat bei Cannes. Die gleichen krüppelhaft-verbogenen Baumformen, wie sie Preda beschreibt, zeigt eine Abbildung des Gespensterwaldes bei Warnemünde, welche Preuß liefert.

Am eingehendsten hat die besprochenen Erscheinungen Kihlmann behandelt, bei dessen Ausführungen wir noch etwas verweilen müssen. Auch in Russisch-Lappland sind es besonders Nordweststürme, die der Vegetation ihr Gepräge verleihen, wie sich leicht daraus erkennen läßt, daß auf den Gebirgshöhen bei Woroninsk und im Hügellande südlich von Lejjawr die Wipfel umgebrochener Nadelhölzer immer gegen Südosten gekehrt sind. An freien Stellen unterscheidet sich ferner überall die Vegetation der Nordwestseite von der der Südostseite. Während z. B. Felsblöcke und kleine Bodenerhebungen auf der Nordwestseite infolge des Einflusses der vorherrschenden Winde gänzlich pflanzenlos sind, tragen sie auf der Südostseite Strauchflechten oder Reiser, welche letztere jedoch ihre Zweige nur bis zum Rande der Erhöhung treiben, da sie dann der scherenden Wirkung des Windes zum Opfer fallen. Solche Vegetationsbilder gibt es bei Orlow und auf den Strandplateaus von Gawrilowa und Swjätoj-nos. Eine besondere Art der Veränderung von Baumformen durch den Wind ist die Mattenbildung. An ihr beteiligen sich Fichten, Wachholder und Birken. Die Pflanzen erreichen in diesem Falle nur die Höhe des umgebenden Reiserfilzes, weil ja alle sich höher erhebenden Zweigspitzen vom Winde getötet werden. Dafür findet aber ein starkes Wachstum von Seitenzweigen in der herrschenden Windrichtung statt, so daß solche Matten bis 5 m Länge bei *Picea* und bis 3 m Länge bei *Juniperus* und *Betula* erreichen. Einen ganz eigenartigen Anblick gewähren solche Mattensträucher, wenn sie am Rande einer steil abfallenden Felswand wachsen und ihre horizontalen, der Windrichtung folgenden Stämme und Äste, über den Abgrund hinausragend, gewissermaßen eine Fortsetzung des Plateaus bilden.

An solchen Stellen, wo in Bodeneinsenkungen reichlichere Schneeanammlung stattfindet, haben die Bäume einen etwas höheren Stamm. Es findet folgendes statt: Wachsen die Spitzen der Stämme über die Schneedecke hinaus, so sterben sie unter dem Einfluß des Windes ab, und es kommt zur Bildung zahlreicher Seitenzweige, die nun bis zur Oberfläche der Schneedecke fortwachsen, wo ihre Spitzen ebenfalls den Windtod erleiden. Durch Wiederholung dieser Vorgänge entsteht ein tischartiges Bäumchen, dessen Oberfläche ungefähr mit der der Schneedecke zusammenfällt. Solche Tischformen bilden *Juniperus*, *Betula* und *Picea excelsa*, wobei letztere, da sie windfester ist, sogar zahlreiche Triebe über die Schneedecke emportreibt.

Gänzliche Baumlosigkeit findet sich infolge der Windwirkung in den nördlichen Tundren Russisch-Lapplands, in der ungarischen Tiefebene, wo der fast konstant wehende trockene Wind jede höhere Pflanze zum Absterben bringt, in den Paramos der Kordilleren und den Punas Perus. Aber nicht nur die Baumlosigkeit vieler Erdstriche ist auf Rechnung der schädlichen Wirkung der Winde zu setzen, sondern diese äußert sich auch in dem Fehlen bzw. beschränkten Vorkommen anderer Gewächse. So werden die dem Winde am meisten ausgesetzten Stellen in Russisch-Lappland von den Cladinen gemieden. Nach ihrer verschiedenen Windfestigkeit lassen sich dort drei Haupttypen von Flechtenheiden unterscheiden, nämlich erstens die *Alectoria*-Heide, welche am besten dem Winde standhält, zweitens die *Platysma*- und *Cetraria*-Heide und drittens die *Cladina*-, *Sphaerophoron*- und *Stereocaulon*-Heide, die am wenigsten windige Stellen liebt.

Am Schlusse der Betrachtung der mechanischen Windwirkungen haben wir nun noch einen Blick auf die Erscheinungen des Windwurfes und Windbruches zu werfen. Bei letzterem werden die Stämme in einer gewissen Höhe über dem Erdboden abgebrochen, bei ersterem stürzen sie mit einseitigem Ausheben der Wurzelkronen. Bemerkenswert ist hierbei, daß der Windwurf in Gebirgen an der Windseite geringer ist als an den Hängen, an denen der Sturm zu Tal geht. Dies hat seinen Grund darin, daß der aufwärts gehende Wind immer nur einen Teil der Baumkronen fassen kann, wodurch seine Kraft geschwächt wird, während er beim Abwärtswehen voll angreifen kann. Windwurf und Windbruch tun nun entweder strichweise Schaden, oder es können in einem gleichmäßigen, alten Bestande ganze Komplexe umgelegt werden, welches letztere auf Zyklone zurückzuführen sein dürfte. Großen Schaden richten Windbrüche besonders in den tropischen Kakaokulturen an, wo nicht nur ganze Bäume, sondern auch die Gabelungen der Hauptäste auseinandergebrochen werden.

Wir kommen nun zur Betrachtung der Gründe der schädlichen Wirkung der Winde auf die Pflanzenwelt.

Borggreve, der den Baumwuchs sowohl an den deutschen Nord- und Ostseeküsten, als auch in den Alpen und im Mittelmeergebiet untersucht hat, ist der Ansicht, daß lediglich die gegenseitige Reibung und Peitschung der dem Winde ausgesetzten Äste

ihr Absterben und damit die Deformierung der Individuen veranlaßt. Gleicher Meinung ist Frank, der im Windbruche die Ursache für die Verkrüppelung der Baumformen erblickt. Grisebach und v. Klinggräf wiederum sehen in der Herabsetzung der Temperatur und dem dadurch bedingten Erfrieren der Zweige an der Luvseite die Ursache der besprochenen Erscheinung. Falk behauptet, neben dem gegenseitigen Reiben und Peitschen der Zweige komme noch der Salzgehalt der Seewinde als verderbbringender Faktor in Frage. Middendorf nimmt an, daß weniger die starke Bewegung der Luft selbst schädlich wirke, als vielmehr die zu hohe Feuchtigkeit derselben. Wiesner, Warming und Kihlmann endlich halten die durch den Wind hervorgerufene übermäßige Verdunstung für den eigentlich schädigenden Faktor, neben dem andere, oben angeführte, nur eine untergeordnete Rolle spielen.

Der Vorgang wäre hierbei folgender: Die den Pflanzen angrenzenden Luftteile werden bei ruhiger Luft dampfreich, wodurch die Transpiration gehemmt wird. Wenn nun Luftbewegungen entstehen, so werden die dampfreichen Luftteilchen weggeführt und es tritt erhöhte Transpiration ein. Diese Wirkung des Windes tritt natürlich in noch weit höherem Maße ein, wenn der Boden gefroren ist, so daß eine schnelle Ergänzung des durch die Transpiration verlorengehenden Wassers nicht möglich ist.

Daß tatsächlich für die besprochenen Erscheinungen erhöhte Transpiration vor allem als Erklärungsgrund in Frage kommt, scheint mir schon daraus hervorzugehen, daß die Bodenvegetation eines lichten Kiefernwaldes, durch den der Wind leicht hindurchgehen kann, xerophilen Bau zeigt.

Welche Mittel schützen nun die Pflanzen einerseits vor der rein mechanischen, andererseits vor der austrocknenden Wirkung des Windes?

Was zunächst die Befestigung des Pflanzenkörpers gegenüber der Gewalt des Windes anlangt, so sehen wir, wie Gewächse, deren Standorte dem Wind sehr ausgesetzt sind, sich fest im Boden verankern. Dies geschieht einmal durch Ausbildung stark bewurzelter Seitentriebe, ein anderes Mal durch stark verzweigte, tiefgehende Wurzeln und weithin kriechende Rhizome, wie es Knuth, Buchenau und Schröter beobachtet haben. Sehr schön zeigen die starke Wurzelbefestigung die Mangroven. Hier finden wir ein strahliges Gestell bogenförmig gekrümmter Wurzeln, z. B. bei *Rhizophora mucronata*. Daß dieses Wurzelgestell dem Einfluß des Windes zuzuschreiben ist, dessen Macht sich durch Benutzung des Wassers in Gestalt der Brandung verstärkt, läßt sich leicht daraus erkennen, daß die Pflanzen, wenn sie nicht im bewegten Küstenwasser, sondern auf trockenem Boden wachsen, dieses Stelzwurzelgestell nicht ausbilden.

Außer den besprochenen Stelzen finden sich nun bei einigen Pandanusarten des offenen Strandes als weitere Befestigungsmittel zahlreiche, von den Ästen herabwachsende Wurzeln, welche die Krone im Substrat verankern. Bei den Mangroven, denen das

Wurzelgestell fehlt, finden wir horizontale Wurzeln von oft ungeheurer Länge.

Um vor Windwurf sicher zu sein, muß nun die Pflanze nicht nur im Boden fest verankert sein, sondern es müssen auch ihre über der Erde befindlichen Teile gegen Zerbrechen bzw. Zerreißen möglichst geschützt sein. Daher treten uns Stämme und Stengel als biegungsfest gebaute Organe entgegen, wie dies Schwendener überzeugend dargetan hat. So bilden die mechanischen Zellen einen peripherischen Ring in Moosstengeln, bei einheimischen Farnen und bei *Equisetum telmateja*. Am schönsten zeigt sich die biegungsfeste Konstruktion bei den tropischen Bambusen, wo wir ebenfalls in der Peripherie mächtige Baststränge antreffen.

Bei der Betrachtung der Blätter, die neben den Stämmen besonders dem Ungestüm des Windes preisgegeben sind, nehmen wir gleichfalls zahlreiche, äußerst zweckmäßige Einrichtungen wahr, die die Spreite vor dem Zerreißen und Zerbrechen schützen sollen. Bei vielen Gramineen und Cyperaceen verbinden I-förmige Träger die obere und untere Blattspreite miteinander, infolgedessen die Blätter gegen das Einknicken geschützt sind. Ebenso finden sich häufig Komplexe mechanischer Zellen in der Nähe des Blattrandes (*Phormium tenax*) sowie denselben begleitende bogige Gefäßbündel, um das Einreißen desselben zu verhindern. Wo dies nicht der Fall ist, tritt, namentlich bei größeren Blättern (Musa-Arten), regelmäßig ein Einreißen der Spreiten ein.

Kommen wir zu den Faktoren, welche die Pflanzen gegen den schädlichen Einfluß einer zu hohen oder zu ungeeigneter Jahreszeit stattfindenden Verdunstung schützen, so fällt uns zunächst die große Bedeutung der Schneebedeckung in die Augen.

Wie wir oben schon sahen, sind in Russisch-Lappland Bäume und Sträucher nur so hoch ihre Zweige zu entwickeln imstande, wie sie von Schnee bedeckt sind. Dasselbe ist nach Schröter auch in den Alpen der Fall. Ferner beobachtete Sorauer, daß die Saaten auf der dem Winde abgekehrten Seite der Furchen selbst bei geringer Schneebedeckung gediehen, während sie auf der Luvseite, wo der Schnee durch den Wind hinweggeführt wurde, zugrunde gingen.

Wie der Schnee, so hindert auch eine Decke organischer Reste die Transpiration.

Wir kommen nun zu den Fällen, in denen die Gewächse sich selbst im Laufe der Entwicklungsgeschichte anatomisch und morphologisch einer gesteigerten oder unzeitgemäßen Transpiration angepaßt haben.

Eine Herabsetzung der Verdunstung wird zunächst dadurch erreicht, daß die Pflanzen die transpirierende Oberfläche verkleinern. So rollen bei trockenem Wetter viele Gramineen ihre Blätter zusammen, z. B. *Calamagrostis arenaria*, *Weingaertneria canescens* und andere Dünen- und Steppengräser. Die günstige Wirkung des Einrollens beruht nicht nur auf der Verkleinerung der Oberfläche, sondern auch darauf, daß die Spaltöffnungen in die innere Höhlung zu liegen kommen, wo der Wind nicht hinstreichen kann. Auch

bei Dikotylen findet das Einrollen der Blätter statt, so bei *Ledum palustre*, *Erica tetralix* u. a.

Eine ähnliche Art des Schutzes gegen Transpiration ist die dauernde Verkleinerung der Blatt- bzw. Sproßflächen. Hierher gehören: Das Nadelblatt, welches lang, schmal-linealisch und stark kutikularisiert ist. Diese Blattform tritt uns besonders schön in den aus *Pinus canariensis* bestehenden Pinaren der kanarischen Inseln entgegen, die in einer Höhe von 1600—2000 m an trocknen Abhängen vorkommen.

Eine dem pinoiden Blatt nahestehende Form ist das ericoide Blatt, welches wir schon kennen lernten (Rollblatt). Es findet sich besonders bei Ericaceen, Proteaceen, Myrtaceen, südafrikanischen Thymelaeaceen, Kompositen und Rubiaceen. Weiter zu erwähnen von hierhergehörigen Blattformen sind schuppenähnliche, fadenförmige und juncoide Blätter, die bei Cupressoideen, grasähnlichen Monokotylen Australiens (*Xanthorrhoea* und *Kingia*) und Juncaceen auftreten.

Was die xerophilen Sproßformen anlangt, so sind bei diesen entweder sehr reduzierte oder doch bald abfallende Blätter vorhanden. In diesen Fällen haben die Sprosse die Funktion der Blätter übernommen, die Spaltöffnungen und das Assimilationsgewebe sind meist in Furchen des Sprosses eingesenkt, um eine möglichst geringe Verdunstung zu ermöglichen. Hierher gehört z. B. der Rutensproß, wie er bei *Genista*, *Cytisus* und *Casuarina* auftritt. Als xerophile Sproßformen sind ferner zu betrachten: die nadelförmigen Kladodien von *Asparagus*, Dornensprosse, wie sie bei *Colletia* auftreten, und endlich die Kakteenformen, wie sie *Cactaceae*, viele *Euphorbiaceae* u. a. zeigen.

Aber auch durch Bedeckung der Organe mit Haaren, Wachsüberzügen u. s. w. wird eine Verminderung der Verdunstung herbeigeführt. Bei zahlreichen Dünen- und Steppengräsern bleiben die unteren Blatteile nach dem Absterben der oberen stehen, setzen die Verdunstung herab und dienen zugleich zur Aufsammlung von Wasser. Solche Gräser sind *Nardus stricta*, *Aristida pungens* und *Scirpus paradoxus* (Tunikagräser).

Was die schon oben erwähnten Spaltöffnungen anlangt, so schließen sie sich, wie Schwendener nachgewiesen hat, wenn die Gefahr starker Verdunstung vorhanden ist und umgekehrt. Diese Spaltöffnungen werden nun je nach den klimatischen Verhältnissen auf beiden oder nur auf einer Seite des Blattes ausgebildet. Sie werden einzeln oder zu vielen in Gruben oder Rinnen eingesenkt z. B. bei den Proteaceen Australiens, wo sie überdies noch von Wollhaaren bedeckt sind.

Wir kommen nun zu einer Gruppe rein morphologischer Anpassungen an vermehrte Transpiration. Eine solche ist zunächst der Zwergwuchs, wie er sich an Baum- und polaren Waldgrenzen findet.

Werden solche Zwerggewächse nun sehr niedrig, schließen sich ihre Zweige und die benachbarter Individuen eng zusammen, so kommt es zur Polsterbildung. Diese bietet zweierlei Vorteile

gegenüber der austrocknenden Wirkung des Windes. Einmal stehen die Zweige der Einzelpflanzen so dicht beieinander, daß sie sich gegenseitig Windschutz gewähren, zweitens sind solche Polster befähigt, schwammartig Wasser aufzusaugen, kapillar festzuhalten und so der Gefahr des Vertrocknens zu entgehen. Solche Polster kommen vor in den Hochgebirgen Südamerikas (*Azorella*), auf den Kerguelen (*Acaena*) und in Steppen und Wüsten (*Anabasis aretioïdes*). Für die Alpen hat Schröter sie eingehend behandelt. Hier wachsen in Polstern *Androsace helvetica*, *Alsine sedoïdes*, *Silene excapa* u. a. Weitere morphologische Anpassungen an erhöhte Verdunstung sind Rosetten- und Rasenbildung. Erstere zeigt sich in den Alpen bei *Saxifraga aizoon*, *Saxifraga cotyledon*, (wie ja die *Saxifraga*-Arten auch bei uns rosettenbildend sind), *Draba aizoides*, *Kerneria saxatilis* u. a. Der Vorteil der Rosettenbildung liegt klar auf der Hand: Die dem Boden angedrückten Blätter bieten dem austrocknenden Winde kein Angriffsfeld, der vielmehr fast wirkungslos über sie hinstreicht, zumal wenn die Rosetten sich in Vertiefungen zwischen Gesteinstücken ausbreiten.

Was endlich die Rasenbildung anlangt, so liegen bei ihr die Verhältnisse wie bei der Polsterbildung: Erstens wird Wasser zwischen den dicht nebeneinander stehenden Trieben kapillar festgehalten, zweitens schützen sich die einzelnen Stengel gegenseitig, so daß nur immer die äußersten in höherem Maße unter heftiger Transpiration zu leiden haben, was aber dadurch ausgeglichen wird, daß von innen Wasser als Ersatz zugeführt werden kann.

Rasenbildende Arten der Alpen sind: *Phyteuma corniculatum*, *Bupleurum stellatum* und *Carex mucronata*. Bei uns bilden zahlreiche Gramineen dichte Rasen (*Weingaertneria*).

Wir wenden uns nun dem mechanischen Einfluß des Windes auf den Boden und damit mittelbar auf die Pflanzenwelt zu.

Der Wind wirkt in Bezug auf den Boden der Festländer einerseits aufbauend, andererseits zerstörend. Diese aufbauende bzw. zerstörende Gewalt des Windes tritt uns besonders in Gegenden mit losem Sandboden z. B. an Küsten und in Wüsten entgegen.

An der Nordsee gehen die ersten Dünenanfänge aus feuchten Sandplatten hervor, die durch Anwachsen von Sandbänken über das Niveau des Meeres entstanden sind. Unter günstigen Verhältnissen siedeln sich nun auf solchen Sandplatten Exemplare von *Triticum junceum* an, die als dünenbildende Pflanze von hoher Bedeutung ist. Dieses Gras, welches an Salzgehalt des Bodens gebunden ist, fängt den vom Winde herbeigeführten Sand mit der unteren Hälfte seines Halmes auf, so daß Miniaturdünen entstehen, die allmählich die Pflanze zu begraben drohen. Doch dies geschieht keineswegs, vielmehr wächst mit der Dünenhöhe auch das *Triticum junceum*. Solche Dünen können eine Höhe von 3 m erreichen. Sobald die Überflutungen dieser Dünen aufhören, beginnt auch der Salzgehalt des Bodens, der durch den Regen ausgewaschen wird, zu schwinden, das *Triticum junceum* kommt nicht mehr fort. An seine Stelle, — die Düne ist nun schon durch die Wurzeln des

Triticum in gewissem Maße fest geworden, — treten hohe Dünengräser wie *Calamagrostis arenaria*, und es entsteht die sekundäre Sandgrasdüne. Der Boden wird jetzt fester und fester, andere Gewächse siedeln sich an, und schließlich ist eine tertiäre bewachsene Düne vorhanden, auf der z. B. *Hippophaë rhamnoides* Gesträuche bildet. In etwas anderer Weise vollzieht sich am Strande der Ostsee die Dünenbildung. Hier ist die wichtigste Dünenpflanze *Hordeum arenarium*. Im übrigen ist der Verlauf der Dünenentwicklung fast der gleiche wie an der Nordsee. Mit der grauen oder festliegenden Düne erreicht die Dünenentwicklung ihren Abschluß. Diese Düne ist dann vorhanden, wenn der Boden so fest geworden ist, daß eine Verletzung desselben durch den Wind nicht mehr oder doch nur selten vorkommt. Die graue Düne ist bewachsen mit Moosen, Flechten und Blütenpflanzen, die ihr einen graugrünen Ton verleihen.

Solche Verhältnisse nun, wie wir sie soeben besprochen haben, finden sich nicht nur an unserer deutschen, sondern auch an anderen Küsten und in Binnenländern, wo weite Sandflächen dem Angriff des Windes ausgesetzt sind.

So werden nach Engler in den Areg's Nordafrikas Dünen gebildet, indem sich um Stämme von Tamarisken, *Genista raetam*, *Calligonum* oder *Astragalus gombo* Sand ansammelt, der die Pflanzen nach und nach bedeckt. Geht nun ein kräftiger Regen hernieder, so schlagen die begrabenen Pflanzen wieder aus, durchbrechen die Sanddecke und wachsen empor, worauf das Spiel von neuem beginnt.

Ähnliche Erscheinungen zeigen sich auch in Deutsch-Südwest-Afrika, wo besonders das Verhalten von *Acanthosicyos horrida* auffallend ist. Dieser Strauch ist blattlos, besitzt jedoch dicht gedrängte, paarweise Dornen in so großer Anzahl, daß undurchdringliche Gebüsche von Mannshöhe entstehen. Seine Wurzeln werden bis 15 m lang, und dringen tief in den Erdboden ein. Wie in Nordafrika um Tamarisken, so häufen sich die herbeigeführten Sande auch um die Stämme dieser Büsche auf, doch auch hier wachsen die Sprosse mit dem Sande und schließlich über ihn hinaus.

Betrachten wir nun die Merkmale, welche den auf dem Winde ausgesetzten Sandböden wachsenden Pflanzen zukommen, so finden wir: Weit kriechende Rhizome (*Ipomoea pes caprae*), Blätter, welche durch Wachsüberzüge (*Eryngium maritimum*), Wollhaare (*Antennaria*), schmale, ledrige Beschaffenheit (*Hippophaë rhamnoides*) geschützt oder gar durch Dornen (*Acanthosicyos horrida*) ersetzt sind.

Wichtiger als die aufbauende ist nun die zerstörende Wirkung des Windes.

Reinke hat beobachtet, daß der Wind im Innern der ostfriesischen Insel Juist die Pflanzendecke der Dünen zerrissen und die dadurch der Festigkeit beraubten Dünen selbst ausgekehlt hat. Die Folge dieses Vorganges war, daß sich an den entblößten Stellen *Psamma* in großer Menge ansiedelte und *Salix repens* ebenfalls wieder neue Triebe hervorbrachte.

Wenn „langgestreckte Windrisse nach verschiedenen Richtungen in die Sandmassen einschneiden“¹⁾, so entstehen die sogenannten Kupsten²⁾. Die Flora derselben besteht entweder aus Sandgrasheide oder kleinen Beständen von *Salix*. Diese Kupsten treten zumeist in größerer Anzahl auf und bilden ein Kupstengebiet. Wird nun nicht nur ein Teil einer Düne von Pflanzen entblößt, sondern ein ganzes Dünensystem seiner Vegetation beraubt, so entsteht eine Wanderdüne. Diese ist von hervorragender Bedeutung für die Pflanzenwelt der Küsten. Ihr Fortschreiten findet in der Weise statt, daß die Sandkörner der Luvseite bei starkem Winde fortwährend über den Kamm hinweggetrieben werden und sich an der Leeseite wieder ablagern, so daß die Düne in dem Maße fortschreitet, wie sie vorher allmählich abgetragen wird. Hat eine solche Düne einmal zu wandern angefangen, so kann sich nach Preuß auf natürlichem Wege ihre Festlegung niemals vollziehen, daher sie in ihrem größten Teile vegetationslos ist. Nur zuweilen siedeln sich Chroococcaceen, Oscillariaceen und andere Algen an, die jedoch bald wieder von herbeigewehtem Sande begraben werden. Trifft eine solche Düne nun auf Wald, so beginnt derselbe allmählich zu versanden. Höher und höher wird die gleitende Masse, und im Laufe der Zeit verschwindet der ganze Wald in dem weißen Grabe. Wandert eine solche Düne dann weiter, so kommen die Reste des verschütteten Waldes wieder zum Vorschein. Tritt jedoch nicht völlige Verschüttung ein, so ist es möglich, daß die Bäume die Versandung bis zu einer gewissen Stammhöhe überdauern. So erzeugen Kiefern, die ihr Höhenwachstum beendet haben, eine Krone, welche sich flach auf dem Sande ausbreitet.

Außer der Versandung durch Wanderdünen sind namentlich für die Flora der Hochwälder Verwehungen, die nur einige Zentimeter betragen, von hoher Bedeutung. Die Bodenflora der Nadelholzwaldungen paßt sich, da sie mit xerophilem Bau ausgerüstet ist, geringen Sandverwehungen ohne Schwierigkeit an; anders jedoch ist es in Buchenwäldern. Hier veranlaßt eine minimale Zuführung von Sand ein Schwinden der typischen Bodenflora. Dafür finden sich andere, teilweise der Dünenflora angehörige Gewächse ein, wie z. B. *Calamagrostis epigea*, *Hordeum arenarium* und *Sedum acre*.

Wir hätten nun noch die Zerstörungen zu betrachten, welche durch die Brandung an den Küsten und damit auch in der Pflanzenwelt derselben angerichtet werden.

Bedeutend sind die Veränderungen, die im Laufe der Zeit an der Nordseeküste stattgefunden haben. Die Dünenzüge, die sich auf den vorhandenen Nehrungen befanden, sind durch die zerstörende Kraft der Nordseewellen oft durchbrochen worden, und das hinter ihnen liegende Marschland verwandelte sich dadurch in das Wattenmeer. Daß damit auch eine bedeutende floristische

¹⁾ Jentzsch, p. 66.

²⁾ Litauisch Kupsta = kleine Erhöhung (zitiert nach Preuß).

Veränderung Hand in Hand ging, versteht sich von selbst. Charakteristische Beispiele von Landverlusten durch Meereswellen sind ferner Helgoland und die deutsche Ostseeküste in Arkona auf Rügen, wo leicht zerstörbare Schichten (Kreide) vorhanden sind. Bedeutende Veränderungen der Küste und damit der Pflanzenwelt habe ich selbst bei Reval an der Ostseeküste beobachtet, wo alljährlich zur Zeit der Frühjahrs- und Herbststürme das Meer bis an die aus Geschiebemergeln, Tonen und Sanden bestehende Steilküste vordringt, diese unterwäscht und so den Absturz ganzer Wald- und Wiesenstreifen veranlaßt. In derselben Weise hat auf der ostfriesischen Insel Juist das Meer in den letzten zehn Jahren westlich von Hall-Ohms-Glopp die 20 m hohe Düne in einer Tiefe von etwa 50 m landeinwärts weggerissen, so daß, wenn nicht durch Steinbuhnen eine Schutzwehr geschaffen wird, die ganze Insel mit ihrem Pflanzenwuchs den sturmgepeitschten Meereswellen zum Opfer fallen muß.

Wir wenden uns nun der Bedeutung der Winde zu, welche sie als Regenbringer für die Pflanzenwelt der Erde haben.

Wenn ein vom Meere kommender, mit Wasserdampf gesättigter Wind auf ein Gebirge eines Kontinents trifft, so wird er zum Aufsteigen gezwungen. Dabei tritt Verdünnung und Abkühlung ein, und der Wasserdampf fällt als Regen zur Erde. So schlägt sich die Feuchtigkeit der westlichen Äquatorialwinde an den Anden im Süden von Südamerika nieder, infolgedessen hier ein sehr üppiger Wald, der antarktische Regenwald, entsteht. Dieser Wald reicht von 36° südlicher Breite bis zum Feuerland und bedeckt das Land vom Meere bis zu einer Höhe von 1700—2000 m. In Ostasien ist es der Südwestmonsun, der den im Winter herrschenden Nordostpassat ablöst und reichliche Frühjahrsregen herbeiführt. Der gleiche Wind ist der Regenspender für das vorderindische Gebiet. Er büßt jedoch an der Westküste am Western Ghat einen großen Teil seiner Feuchtigkeit ein, so daß auf dem Plateau von Dekan an manchen Stellen völlig regenlose Zonen vorhanden sind. In den vom Regen getroffenen Gebieten entstehen aus Bambusen, Calamus-Arten und anderen Pflanzen zusammengesetzte Dickichte (Dschungeln). Der Südwestmonsun ist es auch, der im eigentlichen Monsungebiet, welches sich vom tropischen Himalaya über die malesischen Inseln bis zum tropischen Australien und Neuseeland erstreckt, die fruchtbaren Regenfälle verursacht. Hier finden wir als charakteristischsten Pflanzenverein den tropischen Regenwald. Zahlreich sind die Anpassungen an Windwirkungen, die sich in diesen Wäldern beobachten lassen. Zunächst kämen hier Tafel- und Stützwurzeln in Frage. Erstere sind viele Male höher als breit, gleichen also senkrecht aufgestellten Tafeln und finden sich namentlich bei Bäumen mit riesigen Stämmen, dienen also dazu, diesen einen festen Halt im Boden zu geben gegen die besonders die Krone als Angriffsfeld benutzende Kraft des Windes. Solche Tafelwurzeln sind vorhanden bei Ficus- und Bombaxarten, bei *Myristica*, *Sterculia* u. a. Eine ähnliche, schon oben besprochene Anpassung an Druckwirkung des Windes sind Stützwurzeln, wie

sie bei *Pandanus* und niedrigen Palmenarten vorkommen. Eine weitere merkwürdige Erscheinung ist die Anpassung vieler Pflanzen des tropischen Regenwaldes an zu große Verdunstung, eine Erscheinung, die sich daraus erklären läßt, daß am Vormittag in der Tat eine starke Transpiration stattfindet, während erst am Nachmittag die Regenfälle beginnen. Man findet hier oft eingesenkte Spaltöffnungen, stark kutikularisierte Epidermen, Wassergewebe u. s. w. Im mexikanischen Gebiet sind es die sich am östlichen Abhang der Kordilleren niederschlagenden, vom Passat herbeigeführten Regenmengen, welche eine äußerst üppige Vegetation hervorrufen. Bei einer Regenzeit von 8—9 Monaten finden sich hier feuchte, aus immergrünen Bäumen bestehende Gebirgswälder, in denen Orchideen in größter Mannigfaltigkeit auftreten. Auf den Antillen herrscht auf der Nordseite ebenfalls ein feuchtes Klima, weil hier der Passat an den Gebirgen seine Wassermassen entladet. Im nördlichen Teil von Südamerika herrschen fast ununterbrochen östliche und nordöstliche Winde, die, vom Atlantischen Ozean herwehend, an Wasserdampf so reich sind, daß schon bei geringer Abkühlung Regenfälle eintreten, zumal Gebirgsketten die Küste des Karaïbischen Meeres begleiten, an denen die Seewinde eine Schranke finden. So sehen wir denn hier große Wälder, wie sie auch in Mittelamerika, wo dieselben klimatischen Verhältnisse herrschen, vorhanden sind. Kommen wir zu Brasilien, so bemerken wir, daß in diesem Lande der Südostpassat herrscht, welcher über den Kontinent bis zu den Anden hinweht. Im Südosten wird dieser Wind von der Serra do Mar aufgefangen, auf der sich infolgedessen die üppigsten Wälder entwickeln. An denjenigen Küstenstrichen Südamerikas, an denen keine vorgelagerten Gebirge den Südostpassat abfangen, streicht derselbe über den Kontinent bis zur Ostseite der Anden hin, wo er seine Wassermassen entladet, so daß hier günstige Bedingungen für die Entwicklung reichen Pflanzenlebens vorliegen.

Wenn nun, wie wir es im Bisherigen sahen, vorgelagerte Gebirge den regenbringenden Winden die Feuchtigkeit entziehen, so müssen dieselben, nachdem sie den Kamm der Gebirgsketten überschritten haben, als trockene Winde, die außerdem durch die zunehmende Verdichtung wärmer werden, zu Tal wehen (Föhn). So sehen wir infolge des trockenen Föhns die Mediterranvegetation in die Alpentäler vordringen. Wir sehen ferner, wie sich im Innern von großen Kontinenten Steppen, Savannen und Wüsten vorfinden unter dem Einfluß solcher Winde, deren Feuchtigkeit von Küstengebirgen und Wäldern aufgenommen worden ist. Aber es ist für die Entwicklung regenarmer Formationen nicht einmal nötig, daß Küstengebirge die Wassermengen der Seewinde zum Niederschlagen bringen, sondern es genügt, wenn ein mit Feuchtigkeit gesättigter Wind über weite Ebenen hinstreicht. Auf diesem Wege wird er den größten Teil seiner Feuchtigkeit verlieren. Daher herrscht auch im Innern solcher Kontinente, deren Küsten keine hohen Gebirge aufweisen, ein trockenes, regenarmes Klima.

In solchen regenarmen Gebieten finden sich nun mannigfaltige

Anpassungen von Verdunstung und Wassermangel. Wir bemerken mehrjährige Kräuter und Stauden, die ihre Existenz vornehmlich mittelst unterirdischer Organe wie Zwiebeln oder Knollen erhalten. Wir finden Wollhaarbekleidungen, Dornen, Kakteenformen und andere Eigentümlichkeiten einer xerophilen Bauart.

Zu solchen Formationen regenarmer Gebiete gehören die Prärien Nordamerikas. Sie haben eine kurze Vegetationszeit, die durch sporadische Niederschläge eingeleitet wird. Daraus erklärt es sich, daß diesen Prärien Wälder vollständig fehlen und nur Gräser (*Buchloë*, *Bouteloua*), Kräuter und Stauden vorhanden sind.

Eine ähnliche Ausbildung zeigen die Savannen, die ebenfalls der Hauptsache nach aus steifblättrigen, in Rasen wachsenden Gräsern bestehen. Aber neben diesen gibt es hier auch Sträucher und Bäume. Die am dichtesten mit Bäumen bewachsenen Savannen (*Campos-cerrados*) sind „eine Art niedrige, offene, sonnige Wälder mit gekrümmten und gedrehten Stämmen und einer reichen, aus Gräsern, Stauden und zerstreuten kleinen Sträuchern bestehenden Bodenvegetation.“¹⁾

Auch der Skrub Australiens verdankt sein Entstehen und sein Aussehen dem Umstande, daß der Passat, der von Osten her über das Festland hinweg, an den östlichen Bergen seine Feuchtigkeit abgibt und infolgedessen im Innern des Landes als trockener Wind auftritt. Die Gebüsche dieser Formation bestehen aus filzigen, dichten Sträuchern, die zwar immergrün sind, aber eine schmutzigrüne oder braungrüne Farbe besitzen. Die Bauart der Gewächse ist typisch xerophil. Sie haben schmale, oft stechende Blätter vom ericoïden oder pinoïden Typus. Hierzu gehören Proteaceen, Myrtaceen, Mimosaceen u. a.

An der Nordküste von Afrika, wo der Atlas die vom Mittelmeer kommenden Regenmengen auffängt, herrscht eine an mittlere Feuchtigkeit gebundene Vegetation. Wo dagegen kein Küstengebirge vorhanden ist, wie zwischen Oran und Mostaganem, sind Steppen vorhanden, deren Charakterpflanze *Stipa tenacissima* ist.

In Südafrika erreichen die vom Meere kommenden Dampfmassen, die sich an den das Innere einschließenden Bergen verdichten, die Karraofelder nur da, wo durch Taleinschnitte den Seewinden ein Zugang möglich ist. In den Hochebenen jedoch ist die Lufttrockenheit so groß, daß hier Gewächse, die in der Nähe der Küste gut gedeihen, nicht mehr bestehen können. Wir haben infolgedessen eine ausgeprägt xerophile Vegetation vor uns: Die Sträucher sind immergrün, die Blätter klein oder sukkulent, Haarbekleidungen sind häufig. Wir finden zum Teil so dicht mit Sukkulenten gemischte Gesträuchdickichte, daß sie selbst bei größter Trockenheit nicht durch Feuer zu zerstören sind.

In der nordamerikanischen Salzwüste, einer vom Oregon und Kolorado umflossenen Mulde, fehlt jeder Pflanzenwuchs. Dies kommt daher, daß die Gebirge, welche auf allen Seiten die Wüste umgeben, den Wasserdampf einer jeden Luftströmung, woher sie

¹⁾ Warming, p. 274—275.

auch immer kommen mag, auffangen, so daß er nicht in das Innere der Mulde eindringen kann.

Dieselbe wasserentziehende Wirkung der Gebirge zeigt sich auf Jamaika. Hier wird der von Norden kommende Passat durch die Gebirge der Insel seines Wasserdampfes beraubt, so daß südlich der Gebirgskette Savannenklima herrscht. Dasselbe gilt von den Llanos Venezuelas, denen durch die das Karaïbische Meer begleitenden Gebirge die Feuchtigkeit entzogen wird. Die Folge der Regenarmut dieser Gebiete ist das völlige Fehlen von Baumvegetation.

Wir wenden uns nun der Bedeutung der Winde in Bezug auf die Besiedelung neuer Standorte zu.

Je höher wir nach Norden kommen, um so geringer wird die Zahl der Insekten, die für eine Bestäubung von Blütenpflanzen in Frage kommen. Daher sehen wir denn in jenen Breiten die Windbestäubung in hohem Maße zunehmen.

Wir haben auf Nowaja Semlja 32 %, in Grönland 34 % und in Spitzbergen 37 % anemophile Gewächse. Dies erklärt sich leicht daraus, daß die Windblütler auch in den Gegenden, wo bestäubende Insekten fehlen, fortkommen und vordringen können, weil ihr in ungeheurer Menge erzeugter Pollen über weite Strecken vom Winde dahingetragen wird.

Es zeigt sich ferner, daß die Anemophilie zunimmt, je mehr ein Standort dem Winde ausgesetzt ist. So haben wir 47 % Windblütler auf den Marschinseln der Nordsee, was seinen Grund darin hat, daß die Insekten solche sturmumrausten Eilande meiden. Daher denn die an Insektenbestäubung gebundenen Gewächse dort nur in geringer Zahl auftreten.

Beschäftigen wir uns nun mit der direkten Verbreitung von Pflanzen durch den Wind.

Eine außerordentliche ins Auge fallende Erscheinung sind hierbei die sogenannten Steppenläufer oder Windhexen. Von diesen Pflanzen, die sich der Verbreitung durch den Wind in der Weise angepaßt haben, daß entweder die leichten, kugeligen Früchte oder die ebenso gebauten Fruchtstände oder endlich die ganzen, sich zusammenrollenden Pflanzen ein Spiel der Winde werden, gibt es eine ganze Anzahl. Am bekanntesten sind *Anastatica hierochuntica*, die Rose von Jericho, und *Parmelia esculenta*, die Mannaflechte, welche letztere ihre Heimat in den Wüsten von Zentralasien bis Algier hat. Da die meisten dieser Gewächse die Eigentümlichkeit besitzen, ihre Stengel, Fruchtklappen usw. erst bei Feuchtigkeit zu öffnen bzw. zu strecken, so werden die Samen erst beim Beginn der Regenzeit ausgestreut, wo sie sogleich günstige Bedingungen für eine schnelle Entwicklung vorfinden. Eine größere Anzahl solcher Gewächse führt Huth an. Fruchtstände, die sich der Verbreitung durch den Wind angepaßt haben, sind nach ihm die von *Trifolium nidificum*, *Trifolium globosum*, *Paronychia capella*, welche letztere im pontischen Gebiet weit verbreitet ist. Ganze Pflanzen, die ein Spielball der Winde werden, sind *Plantago cretica*, *Gundelia Tournefortii* (persische Steppen), *Alhagi camelorum*

und *Centaurea diffusa* (südrussische Steppen). In Nordamerika kommt *Amarantus albus* als Wirbelkraut in den Prärieen vor. In der indo-malayischen Strandflora ist das interessanteste Wirbelkraut *Spinifex squarrosus*. Der kugelige Fruchtstand dieser Pflanze ist mit langen Stacheln versehen. Faßt nun der Wind in dieses Stachelgewirr hinein, so rollt er den Fruchtstand über den Sand dahin, wobei die Samen ausgestreut werden und eine weite Verbreitung finden. Haben sich schließlich die Stacheln abgenutzt, so bleibt die von Samen entleerte Hülle liegen.

Wenn in Norwegen ein Nadelwald zerstört wird, so wandern zuerst Birken und Pappeln ein, weil sie leichte Früchte und Samen haben, die vom Winde durch die Luft herbeigeführt werden. Bei einer solchen Verbreitung von Samen und Sporen müssen dieselben naturgemäß an sich so leicht sein, daß der Wind sie davontragen kann, oder sie müssen mit Einrichtungen versehen sein, die bei einer Vergrößerung der Oberfläche doch keine Vermehrung des Gesamtgewichtes mit sich bringen. Was den ersten Fall anlangt, so findet er sich vornehmlich bei Cryptogamen. Jedoch auch bei Phanerogamen ist die Kleinheit der Samen oft einer Fortführung durch den Wind günstig. Besonders die Orchideen der Alpen fallen in dieser Beziehung in die Augen. Ihre in ungeheurer Zahl erzeugten Samen haben ein Gewicht von 0,002—0,008 mg. Mit solchen „Windsamen“ ausgerüstet sind ferner *Saxifraga aspera* (0,01 mg), *Sedum maximum* (0,04 mg), *Gentiana nivalis* (0,015 mg), *Parnassia palustris* (0,03 mg) u. a.

Kommen wir nun zu denjenigen Samen, die mit Oberflächenvergrößerungen versehen sind, um dem Winde eine breitere Angriffsfläche zu bieten, so tritt uns hier als weitaus wirkungsvollste Einrichtung die Federkrone der Kompositen entgegen. Von den schweizerischen Kompositen besitzen 79 %, von denen der alpinen Region sogar 85 % dieses Verbreitungsmittel. Ähnlich wirken natürlich Haare, wie sie z. B. an den Samen von *Epilobium* und an den Früchten von *Eriophorum* sich finden. Weniger wirksam dagegen sind die als Teufelsbart bekannten Fruchtstände von *Dryas* und *Sieversia*, da hier das Gewicht der einzelnen Früchtchen schon bedeutend größer ist als in den bisher besprochenen Fällen.

Der Wert dieser Einrichtungen zur Samenverbreitung ist ohne weiteres klar: Der Wind verbreitet solche Pflanzen über weite Areale, und wenn diese dann günstige Boden- und Klimaverhältnisse antreffen, so dringen sie weiter und weiter vor, diejenigen Konkurrenten überflügelnd, welche eine solche Verbreitung nicht zulassen.

Während nun Kerner der Ansicht ist, daß die von der Luft beförderten Samen „ein nahes Ziel im hohen Bogen erreichen und von der Übertragung luftfahrender Samen über weite Länder und Meere nicht die Rede sein kann“¹⁾, behauptet Schröter, daß letzteres sehr wohl möglich sei, und belegt seine Meinung, mit empirischen Beobachtungen.²⁾

¹⁾ Kerner, p. 165.

²⁾ Schröter, p. 739.

Als bestes Beispiel für die Verbreitung der Samen durch den Wind über weite Strecken ist jedoch die ozeanische Insel flora heranzuziehen. Auf allen diesen Inseln fällt der hohe Prozentsatz an Farnen auf, was sich daraus erklärt, daß die Sporen derselben am leichtesten vom Winde über große Entfernungen entführt werden, wie man denn auch im Staube der Luft stets Sporen aller möglichen Kryptogamen findet.

Noch heute zeigt es sich, daß die Gewächse mit den leichtesten Sporen bzw. Samen Neuland, sei es kontinentaler, sei es insularer Natur, am frühesten in Besitz nehmen. So läßt sich in Gebirgen beobachten, daß Geröllhalden zuerst von Algen, Moosen und Farnen, sodann von Samen mit Haarausrüstungen usw. besiedelt werden.

Wir hätten nun noch den mittelbaren Einfluß des Windes auf die Verbreitung von Pflanzen kurz zu besprechen.

Oft kommt es vor, daß Vögel, an deren Gefieder Samen haften, vom Sturme über die Meere verschlagen werden, bis ihnen ein Eiland im Ozean einen Augenblick der Ruhe ermöglicht. Hierbei werden dann vielleicht die Samen oder Früchte, die sie mitbrachten, abgestreift. Aber auch dadurch, daß z. B. Leichen von Vögeln, in deren Kröpfen sich keimfähige Samen befinden, von Stürmen an insulare Küsten geworfen werden, kann eine Verbreitung der Pflanzen herbeigeführt werden. Ebenso können sich Samen und Früchte mit Baumstämmen, die vom Winde über das Meer getrieben werden, an fernen Küsten einfinden. Darwin z. B. stellte an einem angeschwemmten Eichenstamm drei zwischen den Wurzeln eingeklemmte Dikotylen samen fest, welche nach der Aussaat keimten. Dies beweist, daß eine Pflanzenverbreitung auch auf diesem Wege durchaus wahrscheinlich ist.

Fassen wir kurz die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zusammen.

Zusammenfassung.

- I. Wirkungen des Windes in Bezug auf die Vegetation der Meere und großen Binnengewässer.
 1. Die äußeren Formen der Pflanzen werden durch den Wellenschlag typisch ausgestaltet.
 2. Der Boden des Meeres wird stellenweise durch den Einfluß des Windes seiner Vegetation beraubt.
 3. Die Zusammensetzung der Formationen richtet sich nach der größeren oder geringeren Zufuhr von Sauerstoff und Nährstoffen, welche vom Winde abhängt.
 4. Der Wind verbreitet viele Wasserpflanzen und übernimmt deren Befruchtung.
- II. Wirkungen des Windes in Bezug auf die Vegetation des Festlandes.
 1. Der Wind wirkt baum- bzw. pflanzenwuchshindernd an offenen Stellen.

2. Er wirkt vernichtend in Baumbeständen durch Windwurf und Windbruch.
 3. Die Pflanzen werden durch die schädlichen Wirkungen des Windes, welche namentlich in einer Erhöhung der Transpiration bestehen, veranlaßt, sich diesen möglichst anzupassen durch Verkleinerung der transpirierenden Oberfläche, Haarbedeckungen, Wachsüberzüge, Einsenkung der Spaltöffnungen, Zwergwuchs, Rosetten-, Polster- und Rasenbildung.
 4. Der Wind bewirkt Veränderungen in der Oberflächengestaltung des Erdbodens und damit auch in der Pflanzenwelt desselben. Diese Veränderungen sind einerseits fördernd, andererseits vernichtend.
 5. Die Winde haben eine hohe Bedeutung für die Vegetation als Regenbringer. Da Küstengebirge den Seewinden ihre Feuchtigkeit entziehen, ist ihre Vegetation meist üppig, während die dahinter liegenden Teile der Kontinente meist ein trockenes Klima und dürftige bzw. an große Trockenheit angepaßte Vegetation aufweisen.
 6. Die Winde sorgen für die Verbreitung zahlreicher Gewächse über Länder und Meere. Sie bewirken ein Überwiegen der Anemophilie in windigen Gegenden und verbreiten Samen, Sporen und Früchte direkt, indem sie sie auf dem Erdboden oder durch die Luft davonführen, oder indirekt, indem sie sich der Vögel oder Meereswellen als Mittel bedienen.
-

Über Nachweis und Vorkommen von Nitraten und Nitriten in Pflanzen.

Von

Richard Klein, Wien.

Aus dem Pflanzenphysiologischen Institute der k. k. Universität in Wien.

No. 51 der 2. Folge.

Mit Tafel I und II.

A. Über den mikrochemischen Nachweis und das Vorkommen von Nitraten in den Pflanzen.

Die wichtige Rolle, welche die Nitrate im Stoffwechsel der Pflanze spielen, hat schon frühzeitig zu Versuchen, sie makro- und mikrochemisch nachzuweisen, geführt. Die folgenden Untersuchungen hatten den Zweck, die Brauchbarkeit der bisher in der Pflanzenchemie verwendeten Reaktionen zu überprüfen und zu zeigen, ob einige neuere in der Chemie und in der Mineralogie angewendete Methoden für mikrochemische Untersuchungen von Pflanzen geeignet seien.

I. Über den mikrochemischen Nachweis von Nitraten.

1. Der Nachweis durch Auskristallisation.

Der erste Versuch, Salpetersäure in Pflanzen mikrochemisch nachzuweisen, rührt von Borodin her. Man befeuchtet die Schnitte mit Alkohol und läßt sie unter dem Deckglas eintrocknen, wobei die Nitrate auskristallisieren. Die Methode hat neben der geringen Empfindlichkeit den Nachteil, daß gleichzeitig Asparagin- und andere Kristalle ausfallen, von welchen jedoch die Nitratkristalle durch Winkelmessungen und durch die Blaufärbung mit Diphenylamin-Schwefelsäure unterschieden werden können. Auch lösen sie sich in gesättigter Asparaginlösung leicht, während die Asparaginkristalle darin unlöslich sind (Borodin'sche Probe. Siehe Zimmermann, 40, p. 50 u. 80).

2. Farbenreaktionen.

1883 hat Molisch (28) das als überaus empfindliches Reagens auf Nitrate bekannte Diphenylamin in schwefelsaurer Lösung für botanische Untersuchungen angewendet. Die Schnitte werden mit einem Tropfen einer Lösung von $\frac{1}{100}$ bis $\frac{1}{10}$ gr Diphenylamin in 10 cc salpetersäurefreier konz. H_2SO_4 überdeckt. Diese Reaktion hat in der botanischen Mikrochemie und Physiologie ausgezeichnete Dienste geleistet und die meisten Resultate, die man heute über die Verteilung der Nitrate und über Stickstoffassimilation kennt, sind auf Grund dieser Reaktion gewonnen worden. Die bei dieser Reaktion beobachtete Blaufärbung bleibt aber in verholzten Zweigen selbst bei Gegenwart von Nitraten aus, was auf die reduzierende Wirkung der durch die Schwefelsäure gebildeten Huminsubstanzen zurückzuführen ist, worauf schon Molisch aufmerksam machte.¹⁾ Auch die Anwesenheit von Chlorophyll wirkt störend, und größere Mengen können sogar den Eintritt der Reaktion verhindern. Doch bietet diese Probe nicht zu unterschätzende Vorteile, vor allem die schon erwähnte ganz außerordentliche Empfindlichkeit und die Möglichkeit, salpetersaure Salze schnell und sicher zu erkennen. Nitrite, welche diese und alle Nitrat-Reaktionen gleichfalls geben, sind, wie wir später noch sehen werden, in den Pflanzen bisher höchst selten mit Sicherheit nachgewiesen, und andere oxydierende Substanzen, wie z. B. H_2O_2 , MnO_2 , Fe_2O_3 , die auch Blaufärbung der Diphenylaminlösung hervorrufen, kommen für uns nicht in Betracht, wohl aber bei Bodenuntersuchungen. Wie die Arbeiten von Frank (19, 20) zeigen, kann die Außerachtlassung des letztgenannten Umstandes zu groben Irrtümern führen. Dieser Autor ist nämlich der Ansicht, daß die Bläuung nur durch Nitrate bewirkt werden könne, und macht daher die eigentümliche Beobachtung, daß ein von ihm verwendeter Quarzsand das Vermögen besitzt, Nitrate in unglaublichem Maße festzuhalten, so daß sie weder durch Auswaschen noch durch Glühen des Sandes entfernt werden können (20, p. 110). Auf die Haltlosigkeit dieser Entdeckung Frank's, der übrigens das Ausbleiben der Reaktion stets auf die Abwesenheit von Nitraten zurückführt, hat bereits Schimper (32, p. 218) aufmerksam gemacht. Ich möchte an dieser Stelle gleich folgendes betonen: Wenn es uns nicht gelingt, in irgendeinem Pflanzenteil salpetersaure Salze nachzuweisen, sei es durch eine Farben- oder eine Niederschlagsreaktion, so dürfen wir nicht auf ihre Abwesenheit schließen. Wir werden Fälle kennen lernen, in welchen man die Nitrate in einem Organ finden kann, in einem tiefer gelegenen derselben Pflanze aber nicht. Da die Nitrate von der Pflanze aber zweifellos aus dem Boden aufgenommen werden, müssen sie auch die scheinbar nitratfreie Stelle durchwandern, wir sind daher zu der Annahme gezwungen, daß die Empfindlichkeit

¹⁾ Bekanntlich gibt Holz, das mit Salpeterlösung durchtränkt ist, die Reaktion nicht. Dieser Versuch, der von Molisch (29, p. 3) herrührt, wird von Czapek (15, p. 217 u. 219) und von Zimmermann (40, p. 50) irrtümlicherweise Schimper zugeschrieben.

unserer Reaktionen nicht so weit reicht, uns die Spuren, die sich auf der Wanderung befinden, anzuzeigen.¹⁾

Eine Verbesserung der Diphenylamin-Probe hat Ellram (15) angestrebt. In den verholzten Zellen wird die Blaufärbung durch die Stoffe, die die Ligninreaktion geben, verhindert. Behandelt man nun Schnitte durch verholzte Gewebe mit einer alkoholischen Diphenylaminlösung, die bis zum sichtbaren Ausfall von Kristallen mit verdünnter Salzsäure versetzt ist (16), so färben sich die betreffenden Partien goldgelb und auf Zusatz von Diphenylamin-Schwefelsäure tritt bei Gegenwart von Nitraten deutliche Reaktion ein. Von der Brauchbarkeit der Reaktion kann man sich, wie ich zu bestätigen vermag, an imprägniertem Holz sehr leicht überzeugen.

Ich möchte noch eine von Schmidt u. Lump 1910 angegebene Farbenreaktion erwähnen (33). Die blaue Lösung von Di-(9.10-monoxyphenanthryl-)amin in konz. H_2SO_4 zeigt Nitrate durch Farbumschlag in blautichigrot bis weinrot an. Meine Versuche, die Reaktion für mikrochemische Zwecke anzuwenden, haben mir gezeigt, daß die Farbenveränderung unter dem Mikroskop nicht wahrnehmbar ist, die Reaktion ist also für unsere Zwecke nicht brauchbar.

3. Niederschlagsreaktionen.

Die älteste, von Arnaud u. Padé (2, 3) angegeben, beruht auf der Bildung des schwerlöslichen Cinchonaminnitrates: $C_{19}H_{24}N_2O \cdot NO_3H$. Zur Anwendung gelangt eine 0,4 prozentige Lösung von Cinchonaminchlorhydrat in 0,4 prozentiger Salzsäure. Das Nitrat, das nach Behrens (10, p. 141) fast so wenig löslich sein soll wie Gyps, kristallisiert in sechs- und vierseitigen Blättchen, von denen besonders die letzteren als charakteristisch bezeichnet werden (Taf. I, Fig. 1). Schon Ellram (15) hat auf die Unzulänglichkeit dieser Reaktion hingewiesen und ich kann seine Beobachtungen nur bestätigen. Die Kristalle entstehen nur bei der Untersuchung überaus nitratreicher Pflanzen, z. B. *Tradescantia*, liegen über dem Schnitt, sind sehr groß und erstrecken sich meist über mehrere Zellen. Die Reaktion tritt also nicht lokalisiert auf.

Eine andere von Mineralogen benutzte Reaktion ist für botanische Arbeiten ebenso wenig verwendbar. Nach Brauns (11) versetzt man die zu untersuchende Probe mit einem Tropfen Baryumchlorid und erwärmt auf dem Wasserbade. Beim Abkühlen fallen Oktaeder von Baryumnitrat aus. Ich habe, da diese Methode für die Prüfung von Schnitten ungeeignet ist, versucht, Baryumnitrat mit Alkohol zu fällen, was aber mit Salpeterlösungen, deren Konzentration den im Zellsafte vorhandenen entspricht, nicht mehr gelingt. Selbst typische Nitratpflanzen geben bei dieser Behandlung keine Reaktion. Für die von Schroeder van der Kolk (34) angegebene Modifikation gilt das gleiche. Man bringt die Probe in eine feuchte

¹⁾ Anstatt Diphenylamin kann man auch Brucin verwenden, doch ist ersteres vorzuziehen (28).

Kammer oder auf einen hohl geschliffenen Objektträger, versetzt mit konz. H_2SO_4 und bedeckt mit einem Deckglas, das einen Hängetropfen von $\text{Ba}(\text{OH})_2$ trägt. Die freiwerdende Salpetersäure steigt in die $\text{Ba}(\text{OH})_2$ -Lösung und bei genügender Konzentration (die Reaktion wird im Mikroexsikkator durchgeführt) fallen die Oktaëder aus.

Zum Nachweis von Nitraten kann man auch Berberinazetat anwenden (Behrens, 9, p. 63 und 10, p. 141). Die Probe ist sehr empfindlich (0,005 mg HNO_3), doch fällt gleichzeitig das ebenfalls schwerlösliche Chlorid aus, dessen Kristalle von denen des Nitrates nicht leicht zu unterscheiden sind, weshalb ich auch diese Reaktion nicht weiter berücksichtigen will.

Bevor ich auf die Besprechung der Reaktion, die uns am meisten beschäftigen soll, eingehe, möchte ich die Methode erwähnen, die C. Acqua (1) anwendete, um den Ort der Salpetersäureassimilation in Pflanzen festzustellen. Er zog sie in Mangano-nitratlösungen und konstatierte in bestimmten Teilen eine Ausfällung von Manganhydroxyd. Wo diese stattfindet, erfolgt nach seiner Annahme der Nitratverbrauch. Die Unrichtigkeit dieser Behauptung ist bereits von Houtermans (24) festgestellt worden. Die Mn-Ausscheidung erfolgt auch, wenn das Mn in Form eines anderen Salzes der Pflanze geboten wird. „Die Schwärzung ist zwar auf Mn-Aufnahme zurückzuführen, aber unabhängig von der N-Assimilation (24, p. 28)“. Der Umstand, daß es meist in der Wand und in den Interzellularen, seltener im Zellsaft zu finden ist, läßt wohl keinen Schluß über eine wählrische Aufnahme der Nitrationen seitens der lebenden Zelle zu.

Am wichtigsten unter den Fällungsreaktionen ist die mittels „Nitron“.¹⁾ Dieses Reagens, Diphenylanilodihydrotriazol, $\text{C}_{20}\text{H}_{16}\text{N}_4$, bildet ein sehr schwer lösliches Nitrat, das in schönen Kristallen ausfällt. Es wurde von Busch (12; vgl. auch Gutbier, 23) in die quantitative Chemie, von Visser (38; siehe Emich, 17) in die Mikrochemie eingeführt. Von den anderen schwer löslichen Nitronverbindungen, deren Fällbarkeitsgrenzen aber bedeutend höher liegen als die des Nitrates (1:80000, nach Fluri [18] 1:133000), kommen für uns nur das Nitrit und das Oxalat in Betracht. Ersteres ist vom salpetersauren Salz nicht mit Sicherheit zu unterscheiden; für die Unterscheidung vom Oxalat mögen folgende Merkmale dienen:

Nitrat: Nadeln mit stumpfen Enden und Büschel; nach dem Umkristallisieren lange stumpfe Nadeln (Tafel I, Fig. 5). Im polarisierten Licht lebhafte Interferenzfarben, bes. nach dem Umkristallisieren.

Oxalat: Es entsteht zuerst eine Gallerte, welche sich allmählich in lange spitze Kristalle und Büschel umwandelt. Nur sehr dicke Kristalle zeigen manchmal stumpfe Enden (Tafel I, Fig. 6). Nach dem Umkristallisieren große gefiederte Büschel (Tafel I,

¹⁾ Von Merck zu beziehen. Man verwendet eine zehnpromzentige Lsg. in fünfprozentiger Essigsäure.

Fig. 7). Doppelbrechung, keine Interferenzfarben. Ebenso wie das Nitrat gerade Auslöschung. Bei Gegenwart von wenig Oxalsäure entsteht nur ein Niederschlag von gallertartigem Aussehen, dessen kugelige Flocken im polarisierten Licht schwarze Kreuze zeigen.

Die Reaktion verläuft bei niedrigen Temperaturen vollständiger. Die Fällung tritt in Schnitten lokalisiert ein, doch muß das Deckglas schnell aufgelegt werden, da sonst die Kristalle aus den angeschnittenen Zellen herausschwimmen. Dauerpräparate sind im Reagens sehr gut haltbar.¹⁾

Ich habe die Reaktion mit Nitron zum Nachweis von Nitraten bei den verschiedensten Pflanzen angewendet und mich von ihrer Brauchbarkeit überzeugt. Die Niederschlagsbildung wird, soweit ich feststellen konnte, durch nichts beeinträchtigt, man kann diese Reaktion also stets anwenden. Sie leistet besonders dort, wo die Diphenylaminreaktion versagt, sehr gute Dienste. Im allgemeinen habe ich die von Busch angegebene optimale Lösung von 10 Prozent Nitron in 5prozentiger Essigsäure angewendet. In Schnitten²⁾ von sehr nitratreichen Pflanzen, wie z. B. *Tradescantia* u. a., ist der Niederschlag aber so dicht, daß er alles überdeckt. Es erweist sich dann eine 5prozentige Nitronlösung als zweckmäßiger, da diese nicht quantitativ fällt.

¹⁾ Die Essigsäure, welche zum Auflösen des Nitron angewendet wird, fixiert die Schnitte, wodurch die Membranen permeabel werden. Allem Anschein nach tritt das Nitrat schneller aus dem Schnitt heraus, als das Nitron einzudringen vermag, so daß sich selbst bei schnellem Arbeiten oft zahlreiche Kristalle an der Epidermis festsetzen. Fluri (18, p. 115 f.) hat diese Reaktion speziell zur Untersuchung von *Spirogyra*, deren Plasmapermeabilität er prüfte, angewendet. „Permeable Spirogyrafäden wurden in 2,5prozentige Kalisalpeterlösung übertragen, dann dreimal in destilliertem Wasser ausgewaschen; hierauf folgte auf dem Objektglas unter dem Mikroskop Zusatz von Nitronlösung. An der Oberfläche traten weiße Nadeln auf; im Zellinnern, sowohl im Protoplast wie auch im Zellsaft, blieb jedoch der Niederschlag aus. Wird der Algenfaden direkt aus dem Salpeterbad mit Nitron behandelt, so entsteht in der Flüssigkeit außerhalb der Zellen ein derart dichter Niederschlag, daß die Fäden unsichtbar werden.“ Entfernt man diesen, so sieht man, daß das Innere der Zellen keine Kristalle enthält. Nach Fluri kämen hierfür zwei Möglichkeiten in Betracht. Das Nitrat wird so fest an das Plasma gebunden, daß es nicht mehr nachweisbar ist, oder es ist in zu geringen Mengen vorhanden. Bei Zusatz des Reagens wandert überdies noch ein Teil hinaus, so daß der in der Zelle verbleibende Rest unterhalb der Empfindlichkeitsgrenze liegt. Selbstverständlich kann man nur die zweite Annahme berücksichtigen, doch erhält man, wie ich mich durch sorgfältige Versuche überzeugt habe, überhaupt keine Reaktion, wenn man die Fäden gründlich wäscht. Läßt man die Algen einige Minuten in destilliertem Wasser, das man mehrmals wechselt, dann tritt keine Reaktion ein. Um die erste Annahme als unrichtig hinzustellen, hat Fluri die Fäden vor der Behandlung mit Nitron mit Alkohol fixiert, wobei er augenscheinlich vergaß, daß Nitrate ziemlich alkohollöslich sind. Die einzig richtige Annahme wird sein, daß in die Fäden überhaupt kein Nitrat eindringt. Was die Bemerkung Fluri's zur Diphenylaminreaktion mit ebenso behandelten Fäden anbelangt (p. 116), so ist ihr entgegenzuhalten, daß es sich hier um eine Kontaktreaktion handelt, die Blaufärbung demnach selbst bei Gegenwart von Nitraten nicht im Zellinnern, sondern außerhalb auftreten muß.

²⁾ Zur Bestimmung der Lokalisation eignen sich Längsschnitte meist besser als Querschnitte.

Daß man Nitrate von Oxalaten sehr leicht unterscheiden kann, läßt sich bei *Begonia* feststellen. Legt man Schnitte vom Blattstiel in Nitron, so kann man neben den sofort ausfallenden Nitratkristallen gallertige Kugeln beobachten (Tafel I, Fig. 2), aus welchen in kurzer Zeit feine Nadeln hervorschießen (Tafel I, Fig. 2 und 3). Bald verschwinden die Kugeln vollständig und es bleiben die Oxalatkristalle neben den Nitratkristallen übrig. Da aber jene verhältnismäßig leicht löslich sind, findet man in Dauerpräparaten schon nach ein bis zwei Wochen, oft sogar schon nach einigen Tagen, nur mehr die Nitratkristalle vor (Taf. I, Fig. 4).

II. Über das Vorkommen von Nitraten in Pflanzen.

1. Vorkommen in unterirdischen Organen.

Es ist schon lange (19, 20, 29, 32) bekannt, daß Nitrate nur dann in der Pflanze nachweisbar sind, wenn sie ihr von außen zugeführt werden. Kny (25) hat die Frage, an welcher Stelle der Wurzel ihre Aufnahme erfolgt, genauer studiert. Nach Angaben von Frank (19, p. 477) und von van Tieghem (zitiert nach Kny) soll ihre Absorption nur in der Region der Wurzelhaare stattfinden. Haberlandt schloß sich in seiner Physiologischen Pflanzenanatomie (1909, p. 200 ff.) dieser Anschauung an, ohne die Arbeit von Kny hinreichend zu berücksichtigen. Kny beobachtete nämlich, daß auch die Region, welche über die Wurzelhaare scheidelwärts hinausragt, Nitrate aufzunehmen vermag, die Spitze aber nicht mehr. Zieht man Keimpflanzen von *Zea Mays* und *Pisum sativum* in destilliertem Wasser und überträgt man sie dann in Knop'sche Nährlösung, so kann man an Längsschnitten durch die Wurzel die erste Reaktion mit Diphenylamin in der Partie zwischen Spitze und Haaren wahrnehmen.

Versuche ähnlicher Art, aber in viel geringerem Umfange, habe ich mit *Cucurbita Pepo* angestellt. Die Wurzelspitze selbst erweist sich als nitratfrei, der auf sie folgende haarlose Teil und die Region der Wurzelhaare geben starke Reaktion¹⁾. Legt man Längsschnitte oder sehr dünne Wurzeln in Nitron, so erhält man einen schön lokalisierten Niederschlag.

Die von der Wurzel aufgenommenen Nitrate wandern nun in die Blätter, wo sie assimiliert werden. Nach Schimper (32) ist ihre Verarbeitung als ein photochemischer Prozeß anzusehen, was aber vielfach bestritten wird. Suzuki, Zaleski, Godlewski u. a. (zitiert nach Czapek, 14, p. 205 ff.) haben gezeigt, daß Keimlinge und Blätter in zucker- und salpeterhaltiger Lösung auch im Dunkeln Eiweiß bilden können. Das Licht ist also nur von indirektem Einfluß auf die Nitratassimilation.²⁾ Diese ist aber nicht nur auf die Blätter beschränkt.

¹⁾ Wo nicht anders bemerkt, wurde die Untersuchung mit Diphenylamin und mit Nitron ausgeführt.

²⁾ Neuerdings wird sie von Baudisch (7, 8) auf Grund rein chemischer Untersuchungen als lichtchemischer Vorgang betrachtet, doch darf man Beobachtungen, die an Reaktionen in der Epruvette angestellt werden, nicht ohne weiteres zur Erklärung von Prozessen in der Pflanze heranziehen.

Bis zu einem gewissen Grade sind alle Organe befähigt, Nitrate zu verarbeiten. Ishizuka (nach Czapek, 14, p. 218) hat dies z. B. für Wurzeln nachgewiesen. Die Behauptung von Frank (19, p. 483 u. 486), daß salpetersaure Salze in Pflanzen, welche sie nicht speichern, wie die Lupine und die meisten Holzgewächse, nur in der Wurzel assimiliert werden, entspricht wohl nicht den Tatsachen. Wir können uns sehr gut vorstellen, daß die Menge des wandernden Nitrates so gering ist und seine Verarbeitung so schnell erfolgt, daß wir es eben nicht nachweisen können. Übrigens geben 2 Monate alte Lupinen, die in Gartenerde gezogen wurden, auch im Hypokotyl sehr starke Reaktion. Der Niederschlag von Nitronnitrat ist in den peripheren Teilen am dichtesten (Taf. II, Fig. 10). Die Gefäßbündel sind salpeterfrei, das Mark arm. Beim Übergang in die Kotyledonen hört die Reaktion auf, unterhalb der welkenden Keimblätter zeigt sich mitunter eine Stauung des Nitrates. Die Blattstiele sind nitratführend.¹⁾

Hingegen fand ich bei *Iris germanica* die Nitratreaktion im Sommer ausschließlich auf die Wurzel beschränkt. Beim Übergang in den Wurzelstock hört die Reaktion plötzlich auf (Taf. II, Fig. 11). Der Wurzelstock und die oberirdischen Teile sind salpeterfrei. Ähnlich verhält sich *Yucca filamentosa*. Nitrate sind nur in der Wurzel und zwar meist bis einige Millimeter unter der Knolle nachweisbar. Bei *Lilium pomponium* geben die Wurzeln starke Reaktion, die Zwiebelschuppen aber nicht. Kartoffelknollen fand ich fast stets nitratfrei, im Gegensatz zu Schimper (32, p. 223), der im äußeren Parenchym Salpeter reichlich fand, ebenso Knollen von *Montbretia* und Zwiebeln von *Amaryllis americana*. Die Knollen von *Canna indica*, *Dahlia* und *Begonia boliviensis* gaben stets deutliche bis starke Reaktion (vergl. Schimper). In den Zwiebelschuppen von *Hyacinthus*, die nach Schimper nitratfrei sein sollen, ist die Reaktion auf die zentrale, aus großen stärkefreien Zellen gebildete Schichte beschränkt. Bei *Gladiolus* geben die stärkeführenden Knollen keine Reaktion, die stärkefreien aber sehr deutlich. Die ersteren scheinen die älteren zu sein, sie liegen über den stärkefreien und aus ihnen gehen Stengel und Wurzeln hervor.

Ich möchte an dieser Stelle die Verteilung der Salpetersäure in den Luftwurzeln von *Hartwegia comosa* besprechen. Mit Ausnahme der Gefäßbündel erweist sich nur eine ganz schmale kambiale Zone als nitratfrei, während das übrige, meist stark chlorophyllhaltige Gewebe einen dichten Niederschlag gibt. Die Reaktion ist bis in die äußerste Spitze zu verfolgen.

2. Vorkommen im Stengel.

Die Verteilung im Stengel ist eine ziemlich gleichmäßige. In krautigen Pflanzen kann man im allgemeinen eine Abnahme nach oben feststellen (Molisch, 28), was sich an Querschnitten durch verschieden alte Internodien mit Diphenylamin und mit Nitron sehr schön zeigen läßt. Etwaige Schwankungen sind wohl auf Verschiedenheiten im Verbrauch während der Blüten- und Fruchtbildung

¹⁾ Der Gehalt an Mineralsalzen ist vom Reichtum des Bodens an dem betreffenden Salz und von der Vegetationsperiode abhängig, so daß sich über das Vorkommen von Nitraten nichts allgemein Giltiges aussagen läßt. Nur Untersuchungen, die unter annähernd gleichen Verhältnissen durchgeführt werden, lassen sich miteinander vergleichen. Hier handelt es sich aber bloß darum, die von Frank stammende Behauptung, daß ältere Lupinen nur in den Wurzeln Nitrate nachweisen ließen, zu widerlegen.

zurückzuführen. Die Hauptmenge des Nitrates wird in den parenchymatischen Zellen gespeichert, und zwar kann man meist eine Zunahme von der Peripherie gegen die zentralen Teile beobachten (Taf. II, Fig. 9). Die Gefäßbündel sind nitratfrei, doch gibt der Hadromteil von Pflanzen, die in salpeterreichem Boden gewachsen sind, mit Nitron deutliche Reaktion, der Siebteil nicht. Die kollenchymatischen Zellen sind meist nitratfrei (Taf. II, Fig. 9 u. 12). Folgende Beispiele sollen als Beleg dafür dienen:¹⁾

Datum	Name	Stengelpartie	NO ₃ -Gehalt	Anmerkung
23. XI.	<i>Tradescantia guianensis</i>	Epidermis	viel	oftm. ganze Zellreih. bes. NO ₃ -reich haupts. i. d. Tracheen (Taf. II, Fig. 12)
		Kollenchym	o	
		Parenchym	überaus stark	
21. III.	<i>Hartwegia comosa</i>	Gefäßteil	wenig	Krist. gleichm. um d. Chlorophyllkörner
		Siebteil	o	
		Gefäßbündel alle übrig. Teile	mäßig	
26. IV.	<i>Begonia manicata</i> , Blattstiel <i>Begonia Rex</i>	Gefäßbündel	o	viel Oxals.! (Taf. I, Fig. 2—4)
		Parenchym	wenig	
3. VI.	<i>Dianthus</i> , Blütenstiel	Mark	sehr reich	
4. VI.	<i>Tolmiea Menziesii</i> , Blütenstiel	Rindenparench.	" "	Haare NO ₃ -reich
		Epidermis	" "	
		Kollenchym	" "	
		Rindenparench.	" "	
		Bastring	o	
		Gefäßteil	etwas	
5. VI.	<i>Polygonum bistorta</i>	Siebteil	o	Oxalsäure, haupts. in den Knoten!
		Mark	überaus reich	
		Rindenparench.	sehr reich	
		Mark	" "	
7. VI.	<i>Hoya carnosa</i>	Scheide	Spuren	sehr arm
		Gefäßbündel alle übrig. Teile	sehr reich	
7. VI.	<i>Echium vulgare</i>	Kollenchym	sehr wenig	sehr reich
		Rindenparench.	" "	
		Gefäßteil	Spuren	
		Siebteil	o	
		Mark	sehr reich	
8. VI.	<i>Ballota nigra</i> , Stengel	Epid., Kollench. u. Mark	überaus reich	im Holzparenchym u. i. d. Gefäßen mehr a. i. Stengel mehr a. i. Gefäßbdl.
		Gefäßbündel	etwas	
		Blattstiel E., K. u. M.	überaus reich	
		Gefäßbündel	etwas	
12. VI.	<i>Heracleum</i>	periph. Parench.	wenig	sehr wenig
		Kollenchym	sehr wenig	
		Rindenparench.	" "	
		Gefäßbündel	o	
		Mark	wenig	
		<i>Chaerophyllum temulum</i>	Epidermis	
Kollenchym	"			
Rindenparench.	"			
Gefäßteil	sehr wenig			
Siebteil	o			
Mark	sehr reich			

¹⁾ Als Reagens wurde Nitron angewendet.

Datum	Name	Stengelpartie	NO ₃ -Gehalt	Anmerkung
12. VI.	<i>Bryonia dioica</i> Blattstiel	Epid. u. Kollench. primäre Rinde Siebteil Gefäßteil Mark	sehr wenig wenig ○ Spuren sehr reich	(Taf. II, Fig. 9)
13. VI.	„ Stengel <i>Impatiens noli</i> <i>tangere</i> <i>Boehmeria utilis</i>	Kollenchym Gefäßbündel Parenchym Kollenchym Rindenparench. Mark Gefäßbündel	wie i. Blattstiel arm ○ überaus reich reich sehr reich " " ○	
5. VII.	<i>Splitgerbera</i> <i>biloba</i>		so dicht. Nieder- schl., d. d. Verteil. n. festzustell. ist.	Haare s. NO ₃ -reich
22. VII.	<i>Capsella bursa</i> <i>pastoris</i>	Siebteil alle übrig. Teile	○ sehr reich	
23. VII.	<i>Euphorbia</i> <i>cyparissias</i>	primäre Rinde Mark Gefäßbündel	wenig ziemlich reich ○	
24. VII.	<i>Chelidonium</i> <i>majus</i>	primäre Rinde Gefäßbündel alle übrig. Teile	arm ○ sehr reich	
30. VII.	<i>Campanula</i>	Gefäßbündel alle übrig. Teile	○ reichlich	
23. VIII.	<i>Anthirrhinum</i> <i>majus</i>	Parenchym Gefäßbündel	sehr reich ○	

Die folgende Tabelle zeigt, daß die Nitrate von manchen krautigen Pflanzen in den peripheren Teilen reichlicher gespeichert werden können als im Mark (Taf. II, Fig. 10):

Datum	Name	Stengelpartie	NO ₃ -Gehalt	Anmerkung
23. XI.	<i>Phaseolus</i> <i>multiflorus</i>	Epidermis Gefäßbündel Parenchym	○ ○ überaus reich	gegen d. Peripherie viel reicher
26. I.	<i>Cucurbita Pepo</i> , Hypokotyl	Gefäßbündel Mark Rindenparench.	○ sehr reich bedeut. reicher	
14. XII.	<i>Lupinus albus</i>	Gefäßbündel Rindenparench. Mark	○ sehr reich o od. sehr wenig	imm. bedeut. wen. a. i. Rindenparench. (Taf. II, Fig. 10)

Die meisten der hier angeführten Pflanzen sind typische Nitratpflanzen. Sehr arm an salpetersauren Salzen erweisen sich hingegen *Iris germanica*, *Aspidistra*, *Funckia*, *Amaryllis americana*, *Viola altaica*, *Pelargonium zonale*, *Narcissus poeticus*, *Centaurea cyanus*, *Sedum acre*, *Galium molugo*, *Scrophularia nodosa*, *Linaria vulgaris*, *Fagopyrum sagittatum*, *Digitalis purpurea* u. v. a. In vielen von ihnen läßt sich Nitrat überhaupt nicht nachweisen.

Auch in den meisten Bäumen und Sträuchern findet sich nur sehr wenig oder gar kein Salpeter. Als Ausnahme ist schon lange *Sambucus nigra*

bekannt. Nach Molisch (29) enthalten auch *Fraxinus excelsior*, *Philadelphus coronarius*, *Acer negundo*, *Populus nigra* und *Lonicera* sp. Spuren dieses Salzes. Nach Frank (19, p. 480) führen auch *Vitis* und *Robinia Pseudacacia* Nitrat, ersterer im Blattstiel und in den Haupttrippen, letztere in den Gelenken der Blattstiele. Ich konnte außerdem in den Gelenken der Hauptblattstiele und in den Blättchen von *Caragana* salpetersaure Salze nachweisen. Die Zweige geben mit Diphenylamin infolge der Bildung von Huminsubstanzen keine Reaktion, mit Nitron lassen sich in ihnen Spuren von Nitrat nachweisen. Im Blattstiel von *Aesculus Hippocastanum* kommt gleichfalls Salpeter vor.

Interessant ist die Verteilung der Nitrate in *Tilia platiphylla*. Die Blattstiele erweisen sich, besonders im basalen Teil, als sehr reich. Die Zweige enthalten bedeutend weniger und nahezu vollständig auf die verbreiterten Markstrahlenden beschränkt. Die Reaktion ist besonders an Tangential-schnitten durch den Bast sehr schön wahrzunehmen. Mit Diphenylamin tritt auch bei Anwendung des Reagens von Ellram keine Blaufärbung ein, was jedenfalls auf den Chlorophyllgehalt zurückzuführen ist. Bei *Philadelphus coronarius* findet man das Rindenparenchym sehr nitratreich, während das Mark sehr schwache oder gar keine Reaktion gibt. Bei *Sambucus nigra* hingegen erhält man in allen Teilen mit Ausnahme des Holzes, das nur Spuren aufweist, einen sehr starken Niederschlag (Tafel II, Fig. 14).¹⁾

3. Verteilung in den Blättern.

In den Blättern lassen sich Nitrate mit Diphenylamin nur in der Nähe der Gefäßbündel nachweisen, in sehr nitratreichen Pflanzen reagiert auch das Mesophyll (Molisch, Frank, Schimper). Im allgemeinen wirkt das Chlorophyll störend, was zu Irrtümern bei der Untersuchung von panaschierten Blättern Anlaß geben kann. Zur Feststellung der Verteilung mittels Nitron sind die Kotyledonen von *Cucurbita Pepo* sehr geeignet. Das Schwammparenchym ist sehr NO₃-reich, die Palisadenzellen geben einen bedeutend schwächeren Niederschlag, die Gefäßbündel sind nitratfrei (Taf. II, Fig. 13). Blätter von *Ardisia*, die man auf einige Tage in eine 1prozentige KNO₃-Lösung stellt, geben dasselbe Resultat. Der Nitratverbrauch ist auf der stärker assimilierenden Blattoberseite wahrscheinlich größer als auf der Unterseite, daher ist im Palisadenparenchym weniger Nitrat nachweisbar.

Wenn man mittels Diphenylamin feststellen will, ob in panaschierten Blättern die grünen oder die gelben Teile nitratreicher sind, hat man zu berücksichtigen, daß die Bläuung infolge der Kontrastwirkung an den gelben Stellen leichter beobachtet wird und daß sich an den grünen außerdem die störende Wirkung des Chlorophylls oft geltend macht, wodurch Mißfärbung eintritt. Um grüne und gelbe Teile miteinander vergleichen zu können, muß man überdies solche von möglichst gleicher anatomischer Beschaffenheit wählen.

Für *Acer Pseudoplatanus* hat Timpe (35) gefunden: „Das panaschierte Blatt färbte sich im Nerven und den angrenzenden, völlig farblosen Gebieten intensiv blau. Schwächer war die Färbung in den gesprenkelten Gebieten, die grünen reagierten sehr schwach (p. 86).“ „Die Menge der Nitrate ist

¹⁾ Nach Frank (19, p. 479) ist auch das Mark nitratfrei. Er färbt sich nämlich mit Diphenylamin dunkelbraun, wodurch eine Bläuung verdeckt wird.

demnach um so größer, je geringer der Chlorophyllgehalt des Blattes ist (p. 87).“ Für *Acer Negundo*: „Abgesehen von dem Hauptnerven, der überall große Mengen aufwies, war das Maximum in der Regel in den farblosen Gebieten. Selten war die Verteilung der Nitrate in den grünen und farblosen Gebieten gleichmäßig, noch seltener waren die weißen Gebiete ärmer an Nitraten (p. 96).“

Ich habe außer *Acer Negundo* noch folgende panaschierten Pflanzen untersucht: *Oplismenus imbecillis*, *Selaginella*, *Palangium*, *Aspidistra elatior*, *Aeonium*, *Sambucus nigra*, *Hedera helix* und *Funckia*, konnte aber zu keinem einheitlichen Resultat gelangen. Nitratarme oder nitratfreie Pflanzen, nämlich *Acer*; *Aspidistra* und *Funckia*, wurden auf einige Tage in eine stark verdünnte Salpeterlösung gestellt. Bei den meisten Pflanzen ging die Blaufärbung von den durchschnittlichen Gefäßbündeln aus, von deren Größe ihre Intensität abhing, so daß man an ein und demselben Blatt bald im grünen, bald im weißen Teile die stärkere Reaktion erhielt. An einem Exemplar von *Acer Negundo*, das verhältnismäßig nitratreich war, konnte ich feststellen, daß ausgewachsene weiße Blätter bald Reaktion gaben, bald nicht. Ebenso verhielten sich Blätter, die zur Hälfte weiß, zur Hälfte grün waren.

Die Prüfung mit Nitron liefert deutlichere Resultate, die im allgemeinen mit den bei Anwendung von Diphenylamin erhaltenen übereinstimmen: Bei *Oplismenus*, *Selaginella*, *Aeonium*, *Hedera helix* und *Funckia*¹⁾ ist kein Unterschied zwischen den weißen und den grünen Teilen zu beobachten, bei *Palangium* sind die weißen Teile nitratreicher, bei *Aspidistra* und *Sambucus* die grünen. Bei *Acer Negundo* sind alle Fälle möglich. An Querschnitten von *Funckia* läßt sich mit Nitron sehr schön feststellen, daß der Nitratgehalt vom Rande gegen die Mitte zunimmt, was natürlich beim Vergleich verschieden gefärbter Stellen zu berücksichtigen ist.

4. Vorkommen in Blüten und Früchten.

Nach Angabe von Schimper (32, p. 227) fehlen Nitrate in Blütenteilen, speziell in der Korolle, konstant. In den Samenanlagen und im Pollen habe ich niemals Salpeter gefunden, wohl aber in den anderen Teilen, allerdings nur bei sehr nitratreichen Pflanzen:

Tradescantia hypoleuca: Kelch, Korolle, Filamente, Griffel ziemlich nitratreich, Haare NO₃-arm, Fruchtknotenwand gibt sehr selten Reaktion.

Dianthus: Kelch und Korolle sehr schwache Reaktion.

Salvia officinalis: Kelch und Korolle schwache Reaktion.

Chelidonium majus: Kelch, Korolle und Filamente sehr nitratreich.

Anthirrhinum majus: Kelch und Korolle (im basalen Teil) deutliche Reaktion.

Bei *Tradescantia hypoleuca*, *Chelidonium majus*, *Capsella bursa pastoris* und *Phaseolus vulgaris* konnte ich den Nitratverbrauch in den Früchten verfolgen. Solange sie wachstumsfähig sind, nimmt der Nitratgehalt zu, während der Reife verringert er sich. In den

¹⁾ Die Epidermis der grünen Teile besitzt auf der Oberseite keine Spaltöffnungen, auf der Unterseite bedeutend weniger als die der weißen Streifen. Nach Küster, Pathologische Pflanzenanatomie, 1903, p. 45, besteht zwischen Panaschierung und Zahl der Spaltöffnung kein Zusammenhang.

reifen Früchten sind salpetersaure Salze nicht mehr nachweisbar. Bei *Phaseolus* kann man diese Verhältnisse an einer Frucht studieren. Diejenigen Teile der Schale, welche reife Samen umgeben, sind nitratfrei, die Partien, welche junge Samen umhüllen, geben Reaktion. Die innere chlorophyllfreie Schichte des Fruchtfleisches erweist sich als nitratreicher.

Es wird allgemein angenommen, daß die Nitrate in den Blättern zu organischen Stickstoffverbindungen verarbeitet werden und in Form von Aminosäuren in die Früchte wandern, wo sie zu Eiweiß aufgebaut werden. Die hier angeführten Beispiele sprechen dafür, daß die Nitrate mitunter erst in den Früchten assimiliert werden, in die der Stickstoff in anorganischer Form gelangt.¹⁾

5. Untersuchung von Guttationstropfen auf Nitrate.

Ich habe weiter die bei der Guttation ausgeschiedene Flüssigkeit auf Nitrate geprüft. Die Guttationstropfen wurden direkt untersucht, nur das von *Caladium antiquorum* im Laufe der Nacht ausgeschiedene Wasser, das man leicht in größerer Menge erhalten kann, wurde vorher im Exsikkator eingeengt. Lepeschkin (26, p. 438) hat wohl die abgesonderte Flüssigkeit vieler Pflanzen auf verschiedene organische und anorganische Stoffe geprüft und unter anderem Chloride, Sulfate und Karbonate darin nachgewiesen, über das Vorkommen von Nitraten fehlt jedoch jede Angabe. Das von *Tamarix articulata* Vahl ausgeschiedene Salz enthält nach Marloth (27) Nitrat in größerer Menge; durch Vergleichen mit bekannten NaNO_3 -Lösungen hat er 17,2 Prozent gefunden. Ich habe die Guttationstropfen folgender Pflanzen auf Nitrate untersucht, die quantitative Bestimmung aber nicht durchgeführt:

Name	mit Diphenylamin	mit Nitron
<i>Zea Mays</i> (Keimling)	sehr starke Blaufärbung	sehr starker Niederschlag
<i>Tropaeolum majus</i>	schwache	deutlicher
<i>Splitgerbera biloba</i>	keine	kein
<i>Fuchsia</i> sp.	"	"
<i>Nicotiana glauca</i>	"	"
<i>Tradescantia virginiana</i>	"	"
<i>Tolmiea Menziesii</i>	"	"
<i>Zea Mays</i> (5 Tage alt)	überaus starke	sehr starker
" " (7 Wochen alt)	keine	kein
<i>Caladium antiquorum</i>	starke	starker

¹⁾ Für *Papaver rhoeas* konnte ich feststellen, daß der Nitratgehalt des Blütenstieles gegen das obere Ende abnimmt, unterhalb der Blüte ist er sehr gering. Während der Fruchtbildung nimmt der Nitratgehalt, bes. im oberen Teile, sehr stark zu und auch der Milchsaft ist ziemlich NO_3 -reich. Die Früchte selbst geben keine Reaktion.

Der Milchsaft von *Papaver somniferum* ist nitratfrei, ebenso von *Cichorium intybus*, *Euphorbia cyparissias* und *Campanula*. Der Milchsaft von *Chelidonium majus* enthält Nitrate, am reichlichsten im Blütenstiel. Die meisten Milchsäfte geben nach Schimper (32, p. 228) und Molisch (30, p. 52) keine Reaktion.

Gerade die Guttationstropfen von typischen Salpeterpflanzen geben keine Reaktion. In Schnitten von *Caladium* kann man wohl ziemlich viel Nitrat nachweisen, doch kommt es hier lange nicht zu einer solchen Anhäufung wie bei *Nicotiana* oder *Tradescantia*. Auch *Tropaeolum* ist nicht sehr nitratreich. Interessant ist, daß im Guttationstropfen der Keimlinge von *Zea Mays* viel Nitrat nachweisbar ist, in dem der älteren Pflanzen aber nicht. Die Erklärung hierfür liegt wohl in dem Umstande, daß die Zellen der Keimlinge noch unvollkommen entwickelt sind und die aufgenommenen Nitrate nicht speichern können.¹⁾ Das Fehlen der salpetersauren Salze im ausgeschiedenen Wasser bestimmter Pflanzen wird wohl gestatten, die Frage nach der Funktion des Epithems zu beantworten. Ist dieses im Vergleich zu den anderen Blatteilen bedeutend NO_3 -reicher, so spielt es eine wesentliche Rolle beim Zurückhalten dieser für die Pflanze so wichtigen Salze.

Absolut frei von Nitrat habe ich in Übereinstimmung mit Schimper die Meristeme, Pollenkörner und Samenanlagen gefunden. So sind z. B. die Wurzelspitzen immer nitratfrei. Sehr schön läßt sich in Stengeln der Verlauf der Reaktion bis knapp unter den Vegetationspunkt verfolgen, während der Vegetationskegel selbst keinen Niederschlag gibt (Taf. II, Fig. 8).

B. Über den Nachweis und das Vorkommen von Nitriten in den Pflanzen.

I. Über den Nachweis von Nitriten.

Im Folgenden soll uns der Nachweis von Nitriten und ihr Vorkommen in der Pflanze beschäftigen. Bisher haben sich nur solche Reaktionen als anwendbar erwiesen, die auf der Bildung von Azofarbstoffen beruhen. Die Fällung von salpetriger Säure als Silbernitrit (mittels Silbernitrat) führt nur bei ziemlich konzentrierten Lösungen zu einem positiven Ergebnis, da das ausgeschiedene Salz in sehr viel Wasser, besonders beim Erwärmen, löslich ist.²⁾ Die überaus empfindliche Reaktion mit Jodkaliumstärkekleister (Schönbein) wird von so vielen anderen oxydierenden Substanzen ebenfalls und in gleicher Weise geliefert, so daß sie für botanische Untersuchungen nicht in Betracht kommt. Sehr viele Pflanzensäfte färben Jodkaliumstärkekleister blau, ohne daß Nitrite in ihnen nachzuweisen wären (Schönbein, Molisch). Auf die Untersuchungen von Asō, der die Oxydation in gewissen Fällen auf die Gegenwart von Nitriten zurückführt, kommen wir noch später zurück.

Eine sehr empfindliche Reaktion, die zur Bildung von Bismarckbraun führt, rührt von P. Grieb her.²⁾ Nitrite geben, selbst in sehr verdünnten Lösungen, mit Metadiamidobenzol (Metaphenylen-

¹⁾ Die Pflanzen wurden in Töpfen gezogen. Vielleicht trat in den älteren Kulturen bereits Nitratmangel ein.

²⁾ C. R. Fresenius, Anleitung zur qualitativen chemischen Analyse, 1907, p. 315 ff.

diamin) in überschüssiger verdünnter Schwefelsäure eine charakteristische Gelbfärbung. Die folgende Probe gestattet selbst Spuren von salpetrigsauren Salzen nachzuweisen: Man versetzt die zu untersuchende Flüssigkeit mit einer wässrigen Sulfanilsäurelösung und fügt einige Tropfen Schwefelsäure und wässrige α -Naphthylaminlösung hinzu. Noch bei überaus starker Verdünnung tritt deutliche Rosafärbung ein, die erhalten bleibt; nitritreiche Lösungen geben intensive Rotfärbung, die, unter gleichzeitiger Bildung eines Niederschlages, bald in gelb übergeht (P. Grieb). Bei der Untersuchung von Pflanzensäften ist diese Reaktion nur unter bestimmten Bedingungen, auf die wir noch zurückkommen, eindeutig.

Weitere Reaktionen, deren eingehende Besprechung a. a. O. ich mir vorbehalte, sind im Prinzip von den soeben besprochenen nicht verschieden:

1. Man versetzt die zu prüfende Lösung mit wässriger Sulfanilsäure und zwei bis drei Tropfen konz. Salzsäure. Auf Zusatz von alkoholischer Diphenylaminlösung färbt sich die Flüssigkeit leuchtend rot. Noch schöner tritt die Reaktion ein, wenn man mit der Diphenylaminlösung sorgfältig überschichtet. Es bildet sich an der Berührungsstelle ein roter Ring, der auch bei sehr starker Verdünnung gut zu sehen ist.

2. Nitrite geben mit alkoholischer α -Naphthylaminlösung und etwas verdünnter Salzsäure eine tiefdunkle Violettfärbung. Bei längerem Stehen von nicht zu stark verdünnten Lösungen fällt ein Niederschlag aus.

Bei allen Untersuchungen auf Nitrite ist darauf zu achten, daß die Laboratoriumsluft, besonders wenn mehrere Gasflammen im Arbeitsraum brennen, fast immer Nitrit enthält.¹⁾ Ferner muß man bei der Prüfung von Säften, die längere Zeit aufbewahrt werden, jede Infektion sorgfältig vermeiden.

II. Über das Vorkommen von Nitriten in Pflanzen.

In der Literatur finden sich einige Angaben über Beobachtungen, nach welchen das Vorkommen von Nitriten in der lebenden Pflanze erwiesen sein soll. Czapek (14, p. 207, 208) schreibt hierüber:

„Laurent hat wohl zuerst auf die Reduktion von Nitraten durch höhere Pflanzen aufmerksam gemacht, indem er zeigte, daß Keimpflanzen imstande seien, Nitrate zu Nitrit zu reduzieren. Jorissen erhob jedoch Zweifel dagegen und in der Folge wurde diese Reduktion lange Zeit als Werk von Bakterien angesehen.“ Nach Molisch u. a. wirken Nitrite schädigend, daher sah man von der intermediären Nitritbildung in Laubblättern ab. „In letzter Zeit ist jedoch die Frage, ob Nitritbildung durch Nitratreduktion im Pflanzenkörper möglich ist, in ein anderes Stadium getreten, nachdem Godlewski und Polzeniusz an keimenden Samen in steriler Kultur neuerdings die Nitritbildung aus Salpeterlösung im anaëroben Leben feststellten und Nabokich diese Er-

¹⁾ W. Rullmann, zitiert nach O. Richter, Die Bedeutung der Reinkultur. 1907, p. 19—21.

scheinung für den anaëroben Stoffwechsel steriler Keimlinge mittels der Jodreaktion bestätigen konnte. Sehr wahrscheinlich ist aber auch nach den Befunden von Aso in den Knollen und Knospen von *Sagittaria* Nitrit zugegen, nachdem hier sowohl die Jodstärkereaktion als die Grieb'sche Reaktion positiv ausfallen und Oxydasen anscheinend hierbei nicht in Betracht kommen. Vorkommen von Nitriten wurde übrigens auch von Tjaden Modderman für den Stengelsaft von *Fuchsia* und von Giustiniani für *Urtica* angegeben.“

Nach Euler (Grundlagen und Ergebnisse der Pflanzenchemie, III. 1909) ist das Vorkommen von Nitriten in Pflanzen wahrscheinlich:

„Bei wiederholten unter aseptischen Kautelen angestellten Versuchen hat sich ergeben, daß höhere Pflanzen Nitrit aus Nitrat bilden (p. 133).“

Auf diese Angabe stützt sich jedenfalls Baudisch (7, 8) bei seinen Untersuchungen über Nitratassimilation und Eiweißbildung, die sich übrigens in sehr wenig gestützte Hypothesen verlieren, wenn er sagt:

„Da Nitrite in den Pflanzen mit Sicherheit (?) nachgewiesen werden konnten und auch Nitrite ebenso gute Stickstoffnahrung sind wie Nitrate (was nach Treboux [37] nur für alkalische Nährlösungen gilt), so nimmt man intermediär Nitritbildung an (8, p. 521).“¹⁾

Die Untersuchungen von Laurent (nach Czapek 14, p. 207) und von Godlewski und Polzeniusz (22, p. 252 f.) haben nicht den Zweck, Nitrite in den Pflanzen nachzuweisen, sondern die Reduktion von Nitraten zu Nitriten durch keimende Samen und Knollen darzutun. Diese Überführung erfolgt in steriler Kultur bei Sauerstoffmangel durch intramolekulare Atmung. Bei der Keimung von Erbsensamen in einer 1/2 prozentigen Salpeterlösung konnten Godlewski und Polzeniusz die Bildung von salpetriger Säure in der Lösung feststellen, während sie den durch die Kalilauge nicht absorbierten Anteil des angesammelten Gases, der etwa 5,5% — nämlich 6,4 cc von 112,6 — betrug, nicht näher untersuchten. Die Autoren nehmen an, daß dieses Gas Stickstoff sei oder aus Oxyden des Stickstoffes bestehe. Übrigens ist die Frage, ob Erbsensamen tatsächlich Salpeter zu reduzieren vermögen, noch nicht endgiltig entschieden; Jodin und Jorissen sprechen sich dagegen aus, während Nabokich die Nitritbildung bestätigt (14, p. 207 f.).

Nach Angabe von Czapek soll Giustiniani (21) in *Urtica* salpetrige Säure nachgewiesen haben. Das von ihm benützte Referat zeigt, daß diese Behauptung jeder Grundlage entbehrt. Giustiniani fand, daß der Saft frischer Nesseln, besonders vor der Blüte, bei der Destillation Dämpfe von salpetriger Säure entwickelt. „Mit fortschreitender Vegetation nimmt diese Erscheinung ab und verschwindet in der trockenen Pflanze. Die Entwicklung von salpetriger Säure ist wohl eine Folge gleichzeitiger Gegenwart von Nitraten und von Ameisensäure.“

¹⁾ Wie Molisch (29) gezeigt hat, zerstören höhere Pflanzen Nitrite, die ihnen als Stickstoffnahrung geboten werden, sehr rasch, weshalb sie nur unter den günstigsten Bedingungen nachweisbar sein werden.

Ein anderes Vorkommen von Nitriten hat Tjaden Modderman (36) angegeben. In dem Saft, der aus einem abgeschnittenen Fuchsiastamm austritt, konnte er salpetrige Säure nachweisen. Die in Betracht zu ziehenden Möglichkeiten ihres Entstehens sind: Sie kann aus der Erde stammen, sie kann im Stengel gebildet werden, sie kann sich endlich in der Zeit zwischen Auffangen und Untersuchung in der Flüssigkeit selbst bilden. Die erste Möglichkeit ist außer acht zu lassen, da die Erde sich als nitritfrei erwies, die zweite konnte nicht weiter verfolgt werden und die letzte hält der Autor für unwahrscheinlich.

Ich konnte durch einen überzeugenden Versuch feststellen, daß in dem austretenden Saft Nitrite nachweisbar sind, aber nur durch die Tätigkeit von Bakterien entstehen können. Vier zweijährige Fuchsiastämme wurden 3—4 cm über der Erde abgeschnitten und mittels eines kurzen Kautschukschlauches wurde an jeden Stumpf ein in eine umgebogene Kapillare ausgezogenes Glasrohr angesetzt (Molisch, 31). Die durch den Wurzeldruck ausgepreßte Flüssigkeit wurde in einem Reagensrohr aufgefangen. Die Pflanzen wurden im Kalthaus des Institutes aufgestellt, und zwar zwei im Licht und zwei unter Dunkelstürzen. Je einer dieser Versuche wurde möglichst steril, der andere nicht steril durchgeführt.¹⁾

Bei dieser Versuchsanstellung waren folgende Ergebnisse zu erwarten:

1. Der nicht sterile Lichtversuch sollte Reduktion zu Nitrit, eventuell noch weiter, zeigen.
2. Der sterile Lichtversuch sollte teilweise Zersetzung des Nitrates durch das Licht erkennen lassen. Bekanntlich hat Baudisch (7) nachgewiesen, daß verdünnte Salpeterlösungen im Licht zum Nitrit reduziert werden.
3. Im nicht sterilen Dunkelversuch war dasselbe Resultat zu erwarten wie im entsprechenden Lichtversuch, jedoch in schwächerem Maße.
4. Im sterilen Dunkelversuch mußte die Flüssigkeit unverändert bleiben, es durften also nur Nitrate nachweisbar sein.

¹⁾ Die steril durchgeführten Versuche wurden folgendermaßen angestellt: Die am kapillaren Ende zugeschmolzenen Glasröhren wurden mit dem Kautschukschlauch verbunden, dieser mit einem Wattepfropf versehen, worauf sie in den Dampfsterilisator kamen. Gleichzeitig wurden Proberöhren sterilisiert, die mit einem gut anliegenden durchbohrten Kork — die Bohrung wurde mit Watte ausgefüllt — versehen waren. Die Pflanzen wurden einige Zentimeter über der Erde geköpft, nachdem sie dort mit einer schwachen Sublimatlösung gewaschen worden waren. Die Schnittfläche wurde mit einem sterilisierten Skalpell hergestellt. Der aus dem Schlauch hervorragende Teil der Watte wurde abgeschnitten und der Rest beim Aufsetzen des Rohres in den Schlauch hineingestoßen. Die Ränder des Schlauches wurden mit venetianischem Lack überstrichen. Hierauf wurde die Kapillare abgeflammt, die Watte aus dem Kork entfernt und das Ende der Kapillare beim Einführen in die Bohrung abgebrochen. Auch hier wurde mit Lack abgeschlossen. Gleich nach Zerlegung der Versuche wurden einige Tropfen auf Pepton-Gelatine geimpft. Es kamen nur eine Penicillium- und eine Bakterienkolonie auf. Für die Anleitung bei diesen Versuchen möchte ich Herrn Assistenten Gicklhorn meinen besten Dank ausdrücken.

Die in 1. gewonnene Flüssigkeitsmenge war so gering, daß sie nicht untersucht werden konnte. Im zweiten Fall waren nur Nitrate (mit Diphenylamin und mit Nitron) nachweisbar. Jedenfalls war die Zeit — 5 Tage — zu kurz und die Belichtung zu gering, als daß Nitritbildung hätte erfolgen können. Die im nicht sterilen Dunkelversuch gewonnene Flüssigkeit gab zur selben Zeit mit Diphenylamin und mit Nitron sehr deutliche Reaktion (Nitrat oder Nitrit), die Untersuchung auf Nitrite gab ein sehr deutliches positives Resultat (nach Grieb und nach Lunge), mit Nessler's Reagens einen rötlichen Niederschlag.¹⁾ In der Flüssigkeit des letzten Versuches wurden tatsächlich nur Nitrate gefunden. Er wurde nach dem Öffnen der Proberöhre ins Licht gestellt, so daß er dem nicht sterilen Lichtversuch entsprach. Nach einigen Tagen konnte das Verschwinden von Nitrat und Nitrit konstatiert werden, mit Nessler'schem Reagens trat sehr starke Fällung ein, so daß die Nitratreduktion beendet war.

Daß die Versuche 2 und 4 für unsere Zwecke ausreichend steril, d. h. frei von nitritbildenden Bakterien waren, geht auch daraus hervor, daß in der Flüssigkeit keine Nitrite nachgewiesen werden konnten.

Ein gewöhnlicher, nicht steriler Wurzeldruckversuch wurde mit einem Exemplar von *Boehmeria utilis*, einer gleich *Fuchsia* sehr nitratreichen Pflanze, angestellt. Die ersten austretenden Tropfen lieferten sehr starke Nitratreaktionen, Nitrite waren nicht nachweisbar, traten aber schon nach 6—7 Stunden auf. Am nächsten Tag war bereits so viel salpetrige Säure vorhanden, daß die Reaktionen (Grieb und Lunge) sehr intensiv eintraten. Nach weiteren zwei Tagen waren auch die Nitrite verschwunden, dagegen war die Reaktion mit Nessler's Reagens bedeutend stärker geworden.

Diese Versuche und die Tatsache, daß ein aus Blättern und Stengeln von *Fuchsia* hergestellter Preßsaft nitritfrei ist, beweisen, daß die salpetrige Säure nicht in der Pflanze selbst vorkommt, sondern erst außerhalb durch Bakterien gebildet wird.

Was nun die von Asō (4, 5, 6) untersuchten Pflanzen anlangt, so waren diese: *Sagittaria*, *Pisum* und *Solanum tuberosum*. Die Fehlerquellen sind bei der Untersuchung auf Nitrite so zahlreich und Asō hat leider so wenige ausgeschaltet, daß es sich als notwendig erwies, nahezu alle seine Angaben nachzuprüfen.

Versuche mit *Sagittaria sagittifolia*.

Nach Asō (4, 5, 6) sollen im Preßsaft der Knollen und Knospen (gemeint sind Blattknospen „the buds of the *Sagittaria* bulb“) Nitrite nachweisbar sein. Der ausgepreßte Saft reagiert mit Jodkaliumstärkekleister, was allgemein auf die Gegenwart von Oxydasen zurückgeführt wird. Man kann aber auch, unter Außerachtlassung gewisser Vorsichtsmaßregeln, die Grieb'sche Reaktion erhalten, woraus Asō auf das Vorhandensein von Nitriten schloß.

¹⁾ Auch organische Stickstoffverbindungen liefern diese Reaktion.

Bach und Chodat (zitiert nach Asō, 6) nehmen wieder an, daß es sich nur um Oxydasen handle, und Asō hat auf Grund ihrer Untersuchungen, deren Ergebnisse er bestätigen mußte, seine Ansicht folgendermaßen eingeschränkt: Die Sprosse von *Sagittaria* enthalten Nitrite. In der Knolle wird die Bläuung des Jodkaliumstärkekleisters von Oxydasen hervorgerufen; ausgenommen hiervon ist die Schale, in welcher salpetrige Säure vorkommt.

Ein orientierender Versuch von mir hatte folgendes Resultat: Schnitte durch die Knolle gaben mit Diphenylamin, Nitron, Metadimidobenzol und Sulfanilsäure- α -Naphthylamin keine Reaktion. In allen Fällen zeigt sich eine mehr weniger weitgehende Rotfärbung, die zumindest immer in der Epidermis auftritt. Man kann sie auch bei Anwendung von Säuren allein erzielen, von deren Stärke und Konzentration ihre Intensität abhängt. Der Preßsaft wird mit Sulfanilsäure, Essigsäure und α -Naphthylamin deutliche rosa.

Asō stellte seine Versuche so an, daß er Knollen zerrieb, mit heißem Wasser auszog und nach dem Filtrieren auf Nitrite prüfte. Die Reaktion fiel, auch wenn vorher mit Bleiazetat gefällt wurde, positiv aus und ein Vergleich mit Kontrollproben ergab eine Nitritkonzentration von 1:100000.

Wie ich mich durch eingehende Untersuchungen überzeugt habe, wird die Rosafärbung nicht durch salpetrigsaure Salze, sondern durch Anthokyan und seine Muttersubstanzen bedingt.¹⁾ Die Stärke der Reaktion ist also von dem Gehalt der Knollen an diesen Stoffen abhängig und von dem Umstand, ob zur Extraktion kaltes oder warmes Wasser verwendet wird; im ersten Fall ist sie natürlich schwächer. Hierzu kommt noch, daß die käuflichen Bleisalze immer die Grieb'sche Reaktion geben. Asō hat die meisten Untersuchungen an Bleiazetatfällungen angestellt und es war ihm daher möglich, Nitrite nachzuweisen. Diese waren jedoch nicht im Preßsaft, sondern im Bleiazetat vorhanden.²⁾

Zum Nachweis von Nitriten hat Asō auch Jodkaliumstärkekleister verwendet. Viele Pflanzensäfte geben mit diesem Reagens Blaufärbung, verlieren aber beim Erhitzen diese Fähigkeit. Nach Asō sind die Aminoverbindungen und der Säuregehalt die Ursache dieser Erscheinung, was er durch folgenden Versuch beweisen will. Gleiche Mengen einer 0,001prozentigen KNO_2 -Lösung und einer 1prozentigen Asparaginlösung werden gemischt und in drei Teile geteilt. Der erste wird mit einem Tropfen nitritfreier Lauge alkalisch gemacht, der zweite mit Essigsäure angesäuert, der dritte bleibt neutral. Nachdem man einige Minuten erhitzt hat, gibt die saure Lösung keine Reaktion auf Nitrite. Tatsache ist, daß Aminosäuren durch salpetrige Säure unter Freiwerden von Stickstoff in Oxysäuren übergeführt werden, zu diesem Versuch genügt

¹⁾ Die Schale der Sagittariaknolle ist blaugrün bis blau gefärbt und wird beim Einlegen in Säure intensiv rot.

²⁾ Eine nitritfreie Bleiazetatlösung stellt man durch Auflösen von Blei in Essigsäure her.

aber das Kochen mit Essigsäure allein. Sowohl die Grieb'sche als auch die Jodkaliumstärkekleisterreaktion fallen negativ aus, die Aminoverbindung ist also überflüssig. Damit will ich aber nicht sagen, daß sie beim Erhitzen eines Pflanzensaftes keine Rolle spielt, sondern nur ausdrücken, daß sich durch den Versuch von Asō nicht entscheiden läßt, ob ein Zusammenwirken von Säure und Aminoverbindung zur Zersetzung des Nitrits notwendig ist. Beim Kochen in alkalischer Lösung müssen die Nitrite erhalten bleiben. Asō findet nun, daß ein angesäuerter Preßsaft von Sagittariasprossen die Reaktion von Grieb schwächer gibt als ein alkalischer. Ich kann diese Beobachtung nicht bestätigen und werde noch auf sie zu sprechen kommen.

Was das Vorkommen von Nitriten in den Knollen anbelangt, so sollen sie sich in der Schale finden. Nach früheren Untersuchungen wollte Asō (4, 5) sie in der ganzen Knolle nachgewiesen haben.

Folgender Versuch zeigt, daß weder das parenchymatische Grundgewebe noch die Schale salpetrige Säure enthält. Ein aus geschälten Knollen hergestellter Preßsaft gab deutliche Rosafärbung. Die eine Hälfte wurde mit Bleiazetat gefällt, die andere zu gleichen Teilen bei neutraler, alkalischer und saurer Reaktion gekocht. Der alkalische Teil gab dann keine Färbung mehr. Das Filtrat der Bleiazetatfällung wurde ebenso behandelt.¹⁾ Infolge des geringen Anthokyan Gehaltes werden die Unterschiede hier noch deutlicher, denn es genügt ganz kurzes Kochen mit Lauge, um das Eintreten der Reaktion zu verhindern. Wenn zu viel KOH genommen wird, kann die schwache Gelbfärbung, die beim Aufkochen entsteht, Spuren einer Reaktion vortäuschen. Der aus der Schale hergestellte Preßsaft verhielt sich genau so, nur war die Rosafärbung etwas stärker.

Ähnlich liegen die Verhältnisse bei der Prüfung der Sprosse auf Nitrite. Die überaus schwache Reaktion, welche ein Preßsaft mit Sulfanilsäure- α -Naphthylamin gibt, ist auf die Gegenwart von Anthokyan zurückzuführen, die stärkere Reaktion, welche nach Fällung des Saftes mit basischem Bleiazetat eintritt, auf die Verunreinigung des käuflichen Salzes.

Bei Behandlung von Quer- und Längsschnitten mit Diphenylamin kann man eine sehr schwache auf das Scheidenblatt beschränkte Blaufärbung konstatieren. Der Nitratgehalt ist so gering, daß mit Nitron keine Reaktion eintritt. Führt man die Schnitte durch Sulfanilsäure, 2 n H₂SO₄ und α -Naphthylamin, so kann man zwar eine deutliche Rosafärbung sehen, die sich nur auf die Epidermis und die äußerste Hülle erstreckt, die aber schon durch 2 n H₂SO₄ allein hervorgerufen wird.

Einige Sprosse wurden nach dem Zerreiben mit heißem Wasser ausgezogen. Das Filtrat gab schwache Rosafärbung, die auf Zusatz

¹⁾ Die Fällung mit konzentriertem Bleiazetat ist eine vollständige. Es ist aber zweckmäßig, eine verdünnte Lösung anzuwenden, so daß etwas Anthokyan zurückbleibt.

von KOH in grüngelb umschlag und nach Hinzufügen von Säure wieder hervortrat. Mit Metadiamidobenzol trat keine Reaktion ein, ebenso wenig mit Diphenylamin, was für einen überaus geringen Nitratgehalt spricht. Geschälte Sprosse verhalten sich ebenso. Der aus der Schale gewonnene Preßsaft, der die gleichen Reaktionen gibt, wurde mit einer sehr verdünnten NaNO_2 -Lösung und mit einer wässerigen Anthokyanlösung aus Blättern von *Tradescantia zebrina* verglichen. Die Farbe, welche die NaNO_2 -Lösung gab, entsprach an Stärke der Färbung, die der Preßsaft lieferte. Mit KOH versetzt, ging sie in ein schwaches Gelb mit sehr deutlichem Stich ins Orange über, die Anthokyanlösung gab bei gleicher Behandlung grüngelbe Färbung. Mit der letzteren stimmte der Preßsaft ganz genau überein. Mitunter auftretende Differenzen, wie schwache Grünfärbung in alkalischer, Farblosigkeit in saurer Lösung, sind wohl auf Schwankungen im Gehalt an Anthokyan und dessen Muttersubstanzen zurückzuführen. Daß Gerbstoffe in den Sprossen enthalten sind, kann man an Schnitten feststellen, die man in Eisenchloridlösung legt; es tritt nicht sehr starke, aber nahezu über die ganzen Schnitte verteilte Reaktion ein. In einem Falle konnte ich an einem angeschnittenen Sproß, der an der Luft liegen blieb, starke Rotfärbung wahrnehmen. Die mit dem Preßsaft angestellten Proben fallen durchweg negativ aus, wenn er vorher mit nitritfreiem Bleiazetat gefällt wurde.

Ein aus Sprossen hergestellter Preßsaft wurde bei neutraler, alkalischer und saurer Lösung erhitzt. Er gab vor und nach der Fällung mit Bleiazetat die gleichen Resultate wie der Saft aus den Knollen.

Alle diese Untersuchungen zeigen, daß Nitrite in den Knollen und Sprossen von *Sagittaria sagittifolia* nicht vorkommen. Wären Nitrite vorhanden, so müßte die Reaktion nach dem Kochen mit Lauge erhalten bleiben, nach dem Erhitzen mit Säure zerstört werden. Es ist aber das Gegenteil der Fall, ein Beweis, daß es sich hier um Anthokyan und Gerbstoffe handelt.

Versuche mit Erbsen.

Auch die von Asō (6, p. 323) mitgeteilten Ergebnisse seiner mit Erbsen angestellten Versuche kann ich nicht bestätigen. Er hat Preßsäfte von Wurzeln, Wurzelknöllchen, den weißen Stengelteilen und den grünen mit negativem Resultat auf Nitrite geprüft. Versetzt er aber den aus den weißen Teilen hergestellten Saft mit Bleiazetat, so kann er nach der Filtration Nitrite nachweisen, während der aus den grünen Partien hergestellte Extrakt auch dann keine Reaktion gibt. Ich habe auch den Wurzelpreßsaft untersucht und bin zu folgenden immer gleichen Resultaten gelangt: Vor der Fällung treten die Reaktionen niemals ein, nach der Fällung nur bei Anwendung von käuflichem Bleiazetat. Dann aber treten die Färbungen in sämtlichen Preßsäften gleichmäßig auf. Nach Fällung mit selbst hergestelltem nitritfreiem Bleiazetat kann man niemals Rosafärbung erzielen, so daß von einem Vorkommen

von Nitriten in dem weißen unterirdischen Stengelteil der Erbse nicht die Rede sein kann. Den Wurzelpreßsaft darf Asō nicht zum Vergleich heranziehen, da er ihn nur ohne Behandlung mit Bleiazetat untersucht hat, die Angabe, daß der Saft des oberirdischen Teiles nach der Fällung keine Reaktion zeige, wird auf einem Beobachtungsfehler beruhen, denn bei dem geringen Nitritgehalt, den manche Bleipräparate aufweisen, kann die Färbung oft erst nach einigen Stunden eintreten.

Versuche mit Kartoffeln.

Ein weiteres Vorkommen von Nitriten gibt Asō (6) für die im Dunkeln gezogenen Triebe von Kartoffeln an. Die Richtigkeit dieser Beobachtung konnte ich bestätigen. Dieses Beispiel steht unter den höheren Pflanzen vielleicht vereinzelt da.

Ein aus etiolierten Trieben hergestellter Preßsaft gibt sowohl die Grieb'sche Reaktion als auch sehr deutliche Rosafärbung mit Sulfanilsäure-Diphenylamin. Eine größere Anzahl Triebe wurde, unter Zusatz von Toluol, mit wenig destilliertem Wasser zerrieben und ausgepreßt. Die so gewonnene Flüssigkeit wurde in vier Teile geteilt und 1. durch ein mehrfaches Papierfilter, 2. durch eine Chamberland-Kerze filtriert, 3. mit Bleiazetat, 4. mit der doppelten Menge 96%igen Alkohols gefällt und filtriert. Sämtliche Proben gaben Reaktionen auf Nitrite, die erste etwas schwächer, da die Flüssigkeit nicht ganz klar war. Auch der mit Wasser aufgenommene Rückstand der Alkoholfällung enthielt Nitrite, was ja leicht erklärlich ist, da salpetrigsaure Salze auf viel Zusatz von starkem Alkohol, besonders in Gegenwart von kolloidaler Substanz, teilweise ausfallen. Nun wurde jede Probe in neutraler, alkalischer und saurer Reaktion aufgeköcht und neuerdings geprüft. In der sauren Lösung wurde keine Färbung erhalten. Schnitte von den Trieben färbten sich intensiv blau. Diese Kartoffeln hatten in Gartenerde gekeimt. Ich untersuchte nun Sprosse, welchen, da sie im Keller bez. im Warmhaus getrieben hatten, keine Nährsalze von außen zugeführt worden waren. Die Prüfung wurde in der gleichen Weise angestellt und ergab das gleiche Resultat. Die Knollen gaben mit Diphenylamin-Schwefelsäure keine Reaktion, die Untersuchung des Preßsaftes auf Nitrite hatte aber ein positives Ergebnis. Um die Frage nach dem Ursprung der Nitrite weiter zu verfolgen, prüfte ich den Preßsaft von Kartoffeln, die äußerlich noch keine Zeichen einer Keimung zeigten. Auch hier war salpetrige Säure nachweisbar.¹⁾ Die Knollen befanden sich schon fast am Ende ihrer Ruheperiode, es ist daher möglich, daß chemische Prozesse, die der Keimung vorangehen, bereits erfolgt sind. Um zu entscheiden, ob die Nitrite erst bei der Keimung entstehen oder bereits vorhanden sind, ist es notwendig, die Knollen in verschiedenen Stadien zu prüfen, wobei man mit eben gebildeten zu beginnen hat. Diese Untersuchung gedenke ich im nächsten Sommer durchzuführen.

¹⁾ Wenn man Schale und Parenchym getrennt untersucht, kann man keine Unterschiede feststellen.

Auch ein im Dunkeln steril hergestellter Preßsaft gab ebenso deutliche Reaktion auf Nitrite. Da in sämtlichen Fällen auch schon die ersten Tropfen des filtrierten Saftes Nitrite enthielten, ist wohl kaum anzunehmen, daß sie post mortem entstanden sein sollen.

Untersuchung von *Erythrina coralloides*.

In den bisher besprochenen Fällen handelt es sich ausschließlich um Versuche, Nitrite in unterirdischen Organen und jungen Trieben nachzuweisen. Über das Vorkommen von salpetriger Säure in Blättern existiert meines Wissens nur eine einzige Angabe. Weehuizen (39) will sie auf folgende Weise in *Erythrina* nachgewiesen haben:

„Wenn die Blätter gequetscht und feuchtes Jodkalium-Stärkepapier in die Nähe gebracht wurde, so färbte das Papier sich blau, und wenn das Papier mit einer Sulfanilsäurelösung und verdünnter Schwefelsäure getränkt wurde, so blieb es unverändert, zeigte jedoch nach dem Betupfen mit alkoholischer α -Naphthylaminlösung eine karminrote Färbung. Wenn die Blätter zuvor in kochendem Wasser getötet wurden, so zeigten sie diese Reaktionen nicht. Verfasser brachte auch 100 gr frischgepflückte Blätter in Kolben und stellte diese nach einer halben Stunde in Wasser von 100° C. Die entweichende Luft ergab obenerwähnte Reaktionen . . .“

„Nach der Meinung Verfassers wird die Säure durch Enzymspaltung eines Glykosides gebildet.“

Der aus Blättern sowie der aus Blattstielen und Stengeln von *Erythrina coralloides* hergestellte Preßsaft gibt, wie ich feststellen konnte, vor und nach der Fällung mit nitritfreiem Bleiazetat tatsächlich sofort sehr deutliche Nitritreaktion. Nähert man aber den gequetschten Blättern die feuchten Reagenspapiere, so gelingt es nicht, auf diese Weise salpetrige Säure nachzuweisen. Die übrigen von Weehuizen angestellten Versuche konnte ich wegen Mangels an Material nicht durchführen, doch spricht das sofortige Eintreten der Reaktion im steril hergestellten Preßsaft — der ganze Versuch dauert übrigens nur einige Minuten — dafür, daß die Nitrite wohl an und für sich in der Pflanze vorkommen und nicht erst in den abgeschnittenen Blättern entstehen.

Untersuchung von Wurzelknöllchen.

In Schnitten von Wurzeln von *Phaseolus multiflorus* erhielt ich mit Nitron einen ziemlich starken Niederschlag. Schnitte durch Wurzelknöllchen gaben bedeutend stärkere Reaktion. Ein aus den Knöllchen hergestellter Preßsaft gab die Grieb'sche Reaktion sehr deutlich.¹⁾ Wenn ich den Saft von Zeit zu Zeit untersuchte, konnte ich beobachten, daß die Färbung immer stärker wurde. Ein aus harten, frischen Knöllchen gewonnener Preßsaft verhielt sich genau

¹⁾ Unter den Knöllchen befanden sich auch solche, die schon zum Teil entleert und zerfallen waren.

so, d. h. er gab schon nach viertelstündigem Stehen viel stärkere Färbung. Die Reaktion des Saftes von alten, teilweise zerfallenen Knöllchen änderte sich aber nicht, ein Beweis, daß das Auftreten von Nitriten auf die vorhandenen virulenten Bakterien und nicht auf eine Infektion aus der Luft zurückzuführen ist. Daß es sich tatsächlich um Nitrite handelt, ergibt sich auch daraus, daß die Färbung nach Zusatz von Harnstofflösung — salpetrigsaure Salze werden durch Harnstoff zersetzt — bedeutend schwächer eintritt. Der Preßsaft von Phaseoluswurzeln gibt keine Reaktion auf Nitrite.

Mit demselben Erfolg wurden auch die Wurzelknöllchen von *Cytisus sp.*, *Swainsonia Badelli* und *Medicago sp.* untersucht.

Diese Beobachtungen sind eine Stütze der von Czapek (13, p. 644 ff.) aufgestellten Hypothese, nach welcher man die Bindung von Luftstickstoff durch Bakterien als den der Nitritspaltung entgegengesetzten Vorgang aufzufassen hat, entsprechend der Gleichung: $\text{NH}_4\text{NO}_2 \rightleftharpoons \text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{Energie}$, wobei die Energiezufuhr jedenfalls durch die grüne Pflanze erfolgt, welche die Kohlehydrate liefert.

Zum Schlusse erübrigt mir noch die angenehme Pflicht, Herrn Prof. Dr. Hans Molisch meinen aufrichtigen Dank auszusprechen für die Anregung zu dieser Arbeit und die mannigfache Unterstützung. Herrn Prof. Dr. Richter und Herrn Assistenten Dr. Vouk muß ich für das rege Interesse gleichfalls meinen besten Dank ausdrücken.

Zusammenfassung.

Die wichtigeren Ergebnisse der vorliegenden Arbeit sind:

1. Die in der Chemie zur quantitativen Bestimmung der Salpetersäure angewendete Reaktion von Busch mit „Nitron“, die bereits in der Mineralogie zum mikrochemischen Nachweis von Nitraten dient, wurde auf ihre Brauchbarkeit für botanische Untersuchungen geprüft und als sehr geeignet zur lokalisierten Fällung von Salpetersäure erkannt. Alle anderen Niederschlagsreaktionen auf Nitrate haben sich als unzweckmäßig erwiesen.

2. Salpetersaure Salze kommen, wie schon Molisch gezeigt hat, vorwiegend in krautigen Pflanzen vor. Mit der Nitronreaktion wurden auch in *Tilia*, wo die Diphenylaminreaktion trotz Vorbehandlung der Schnitte mit dem Reagens von Ellram versagte, Nitrate nachgewiesen.

Die Angaben von Kny über den Ort der Nährstoffaufnahme durch die Wurzel werden mit Hilfe dieser Reaktion überprüft und bestätigt.

Über die Verteilung der Nitrate in den Stengeln und Blättern konnte ein genaueres Bild gewonnen werden als bisher. Es wurde ferner der Salpeterverbrauch in den Früchten einiger Pflanzen genauer verfolgt und außerdem auch festgestellt, daß in der Guttations-

flüssigkeit der typischen Nitratpflanzen Salpeter fehlt, während er in dem ausgeschiedenen Wasser von anderen und von Keimlingen vorkommt.

3. Zum Nachweis von Nitriten wurde außer der Griebß'schen Reaktion (Sulfanilsäure- α -Naphthylamin) auch Sulfanilsäure-Diphenylamin angewendet.

Bezüglich des Vorkommens von Nitriten in Pflanzen wurde festgestellt:

Sie kommen in der durch den Wurzeldruck ausgeschiedenen Flüssigkeit von *Fuchsia* nicht vor, sondern entstehen erst durch die Tätigkeit von Bakterien und Pilzen.

In den Knollen und Sprossen von *Sagittaria sagittifolia* und im unterirdischen, weißen Stengenteil von *Pisum* sind sie gleichfalls nicht nachweisbar. Der Eintritt der Reaktion ist auf die Gegenwart von Anthokyan und Gerbstoffen im Preßsaft, bez. auf Verunreinigung des zur Fällung angewendeten Bleisalzes zurückzuführen.

Im Preßsaft von etiolierten Kartoffeltrieben hat Asō Nitrite nachgewiesen, was bestätigt werden konnte. Es wurde in der vorliegenden Arbeit gezeigt, daß sie auch dann zu finden sind, wenn die Sprosse sich ohne Zufuhr von Nährsalzen entwickelt haben. Im Preßsaft der Knollen sind Nitrite selbst dann nachweisbar, wenn diese äußerlich keine Keimung zeigen. Auch im Preßsaft von *Erythrina*-Blättern finden sich Nitrite.

Nitrite wurden ferner in den Wurzelknöllchen einiger Leguminosen gefunden, in besonders reichem Maße bei *Phaseolus multiflorus*.

Literaturverzeichnis.

1. Acqua, C., Ricerche sul luogo di utilizzazione dell' azoto dei nitrati nel corpo delle piante. (Rendic. Accad. Lincei. XIX. 1910, 5. I. Sem. p. 339—349 Ref.: Bot. Zentralbl. 1911. II. p. 455.)
2. Arnaud, A., Recherches sur la cinchonamine, nouvel alcaloide des quinquinas. (Ann. de chim. et de phys. T. XIX. 1890. p. 93—131.)
3. — u. Padé, L., Recherche chimique de l'acide nitrique, des nitrates dans les tissus végétaux. (Compt. rend. T. 98. 1884. p. 1488—1490.)
4. Asō, K., On the Chemical Nature of the Oxidases. (Bull. Agric. Coll., Tokyo Imp. Univ. Vol. V. p. 481—489.)
5. — Which compound in certain plant-juices can liberate iodine from potassium iodid? (Beih. z. Bot. Zentralbl. Bd. XV. 1903. p. 208—214.)
6. — On the Nature of Oxidases. (Ebenda. Bd. XVIII. 1905. p. 319—326.)
7. Baudisch, O., Über Nitrat- und Nitrit-Assimilation. [I. Lichtchemische Mitteilung.] (Ber. Dtsch. chem. Ges. Jg. 44. 1911. p. 1009—1013.)
8. — Über Nitrat- und Nitritassimilation und über eine neue Hypothese der Bildung von Vorstufen der Eiweißkörper in den Pflanzen. (Zentralbl. f. Bakt. Abt. II. Bd. 32. 1912. p. 520—540.)

9. Behrens, H., Anleitung zur mikrochemischen Analyse der wichtigsten organischen Verbindungen. H. 3. 1896.
10. — Anleitung zur mikrochemischen Analyse. Hamburg u. Leipzig 1899.
11. Brauns, R., Eine mikrochemische Reaktion auf Salpetersäure. (Zeitschr. f. wissenschaftl. Mikrosk. Bd. XIII. 1896. p. 207.)
12. Busch, M., Gravimetrische Bestimmung der Salpetersäure. (Ber. Dtsch. chem. Ges. Jg. 38. p. 861—866. Ref.: Chem. Zentralbl. Jg. 76. 1905. I. p. 900 f.)
13. Czapek, F., Der Stickstoff im Stoffwechsel der Pflanze. (Ergebn. d. Physiol. Jg. 2. 1903. p. 639—672.)
14. — Biochemie der Pflanzen. 1905. Bd. 2.
15. Ellram, W., Über mikrochemischen Nachweis von Nitraten in Pflanzen. (Sitzungsber. d. Naturf. Ges. b. d. Univ. Jurjeff (Dorpat). Bd. XI. 1895. p. 105—116.)
16. — Ein Beitrag zur Histochemie verholzter Membranen. (Ebenda. p. 117—121.)
17. Emich, F., Lehrbuch der Mikrochemie. Wiesbaden 1911.
18. Fluri, M., Der Einfluß von Aluminiumsalzen auf das Protoplasma. (Flora. Bd. 99. 1909.)
19. Frank, A. B., Über Ursprung und Schicksal der Salpetersäure in der Pflanze. (Ber. Dtsch. bot. Ges. Bd. V. 1887. p. 472—487.)
20. — Untersuchungen über die Ernährung der Pflanze mit Stickstoff und über den Kreislauf derselben in der Landwirtschaft. Berlin 1888.
21. Giustiniani, E., Über einige Bestandteile der Nesseln. (Gaz. chim. ital. 26. 1—7. Ref.: Chem. Zentralbl. 1896. I. p. 930.)
22. Godlewski, E. und Polzeniusz, F., Über die intramolekulare Atmung von in Wasser gebrachten Samen und über die dabei stattfindende Alkoholbildung. (Extr. d. Bull. de l'Acad. d. Scienc. de Cracovie. 1901. p. 227—276.)
23. Gutbier, A., Die gewichtsanalytische Bestimmung der Salpetersäure mittels „Nitron“ nach M. Busch. (Zeitschr. f. angew. Chem. 18. p. 494—499. Ref.: Chem. Zentralbl. Jg. 76. 1905. I. p. 1274.)
24. Houtermans, E., Über angebliche Beziehungen zwischen der Salpetersäure-assimilation und der Manganabscheidung in der Pflanze. (Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. Wien. Mathem.-naturw. Kl. Bd. CXXI. Abt. I. 1912.)
25. Kny, L., Über den Ort der Nährstoff-Aufnahme durch die Wurzel. (Ber. Dtsch. bot. Ges. Bd. XVI. 1898. p. 216—236.)
26. Lepeschkin, W. W., Zur Kenntnis des Mechanismus der aktiven Wasserausscheidung der Pflanzen. (Beih. z. Bot. Zentralbl. Bd. XIX. 1906. p. 409—452.)
27. Marloth, R., Zur Bedeutung der Salz abscheidenden Drüsen der Tamariscineen. (Ber. Dtsch. bot. Ges. Bd. V. 1887. p. 319—324.)
28. Molisch, H., Über den mikrochemischen Nachweis von Nitraten und Nitriten in der Pflanze mittelst Diphenylamin oder Brucin. (Ber. Dtsch. bot. Ges. Bd. I. 1883. p. 150—155.)
29. — Über einige Beziehungen zwischen anorganischen Stickstoffsalzen und der Pflanze. (Sitzungsber. d. kais. Akad. d. Wissensch. in Wien. 1887.)
30. — Studien über den Milchsaft und Schleimsaft der Pflanzen. Jena 1901.

31. Molisch, H., Das Hervorspringen von Wassertropfen aus der Blattspitze von *Colocasia nymphaefolia* Kth. (*Caladium nymphaefolia* Hort.) (Ber. Dtsch. bot. Ges. Bd. XXI. 1903. p. 381—390.)
32. Schimper, A. F. W., Zur Frage der Assimilation der Mineralsalze durch die grüne Pflanze. (Flora. 1890. p. 207—261.)
33. Schmidt, J., u. Lumpp, H., Über eine neue, sehr empfindliche Farbenreaktion zum Nachweis von Salpetersäure und Nitraten. (Ber. Dtsch. chem. Ges. Jg. 43. 1910. p. 794—797.)
34. Schroeder van der Kolk, J. L. C., Eine Bemerkung zu der Mitteilung von R. Brauns „Eine mikrochemische Reaktion auf Salpetersäure.“ (N. Jahrb. f. Mineral. Jg. 1897. Bd. I. p. 219.)
35. Timpe, H., Beiträge zur Kenntnis der Panaschierung. Diss. Erlangen 1900.
36. Tjaden Modderman, R. S., Kommen Nitrite normal in Pflanzen vor? (Maandbl. vor natuurwetensch., 14. 91—97. Ref.: Chem. Zentralbl. 1888. I. p. 377.)
37. Treboux, O., Zur Stickstoffernährung der grünen Pflanze. Vorl. Mitt. (Ber. Dtsch. bot. Ges. Bd. XXII. 1904. p. 570—572.)
38. Visser, H. L., „Nitron“ als mikrochemisches Reagens. (Chemisch Weekblad, 3. 743—746. Ref.: Chem. Zentralbl. Jg. 1907. I. p. 302.)
39. Weehuizen, F., Over Salpetrigzuur in *Erythrina* L. (Salpetrige Säure in *Erythrina* L.) (Pharm. Weekbl. 1908. p. 1229—1232. Ref.: Bot. Zentralbl. Jg. 30. 1909. II. p. 46f.)
40. Zimmermann, A., Die botanische Mikrotechnik. Tübingen 1892.

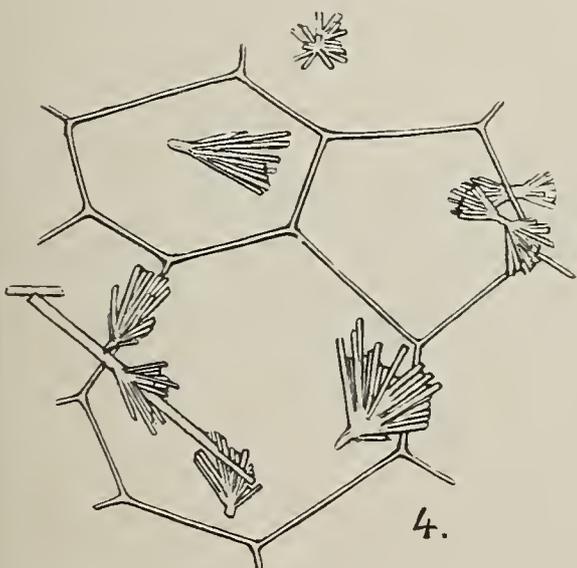
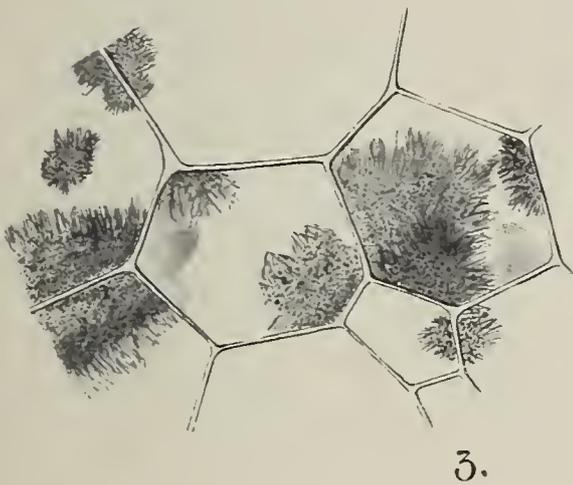
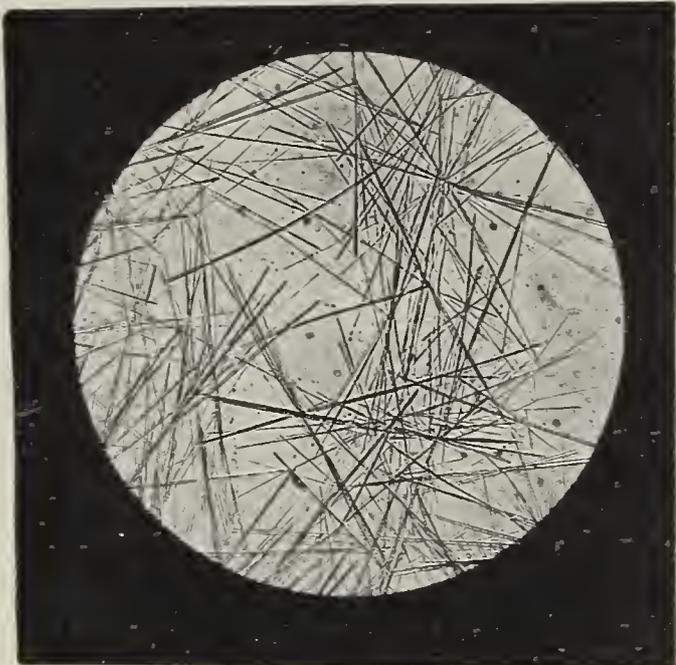
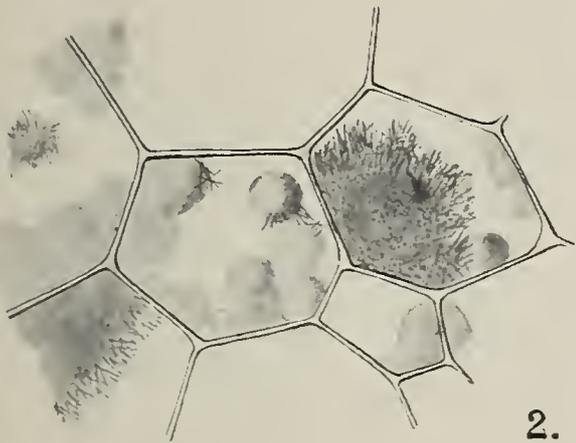
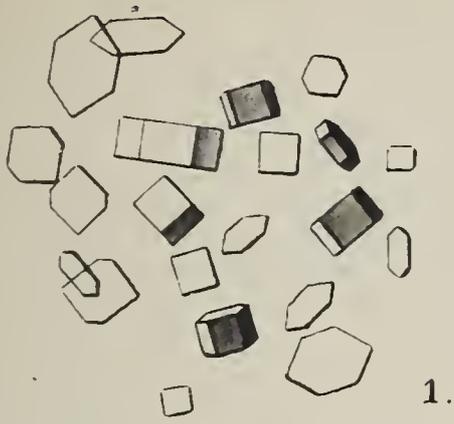
Figurenerklärung.

Tafel I.

- Fig. 1. Cinchonaminnitrat. Vergr. 332.
- Fig. 2. *Begonia manicata*, Stengel quer, Grundgewebszellen. Bildung von Nitronoxalat. Die Nitratkristalle sind nicht gezeichnet. Vergr. 180.
- Fig. 3. Das gleiche in einem späteren Stadium. Vergr. 180.
- Fig. 4. *Begonia manicata*, älteres Präparat mit Kristallen von Nitronnitrat. Die Oxalatkristalle sind bereits aufgelöst. Vergr. 180.
- Fig. 5. Nitronnitrat (photogr. von Dr. Vouk). Vergr. 180.
- Fig. 6. Nitronoxalat. Vergr. 180.
- Fig. 7. Das gleiche nach dem Umkristallisieren auf dem Objektträger. Vergr. 48.

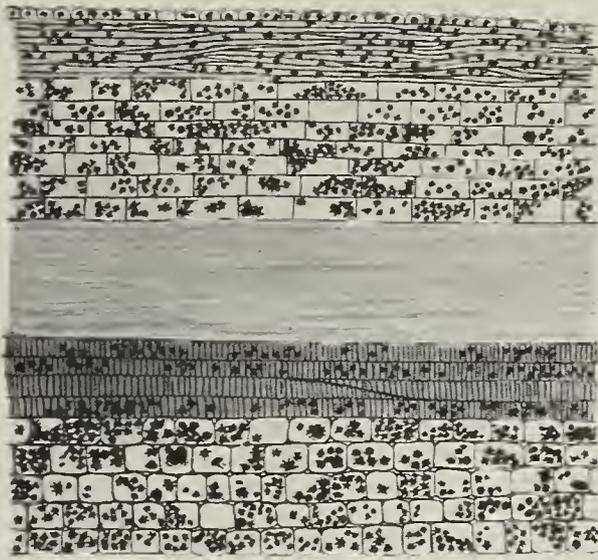
Tafel II.

- In sämtlichen Figuren ist die Fällung des Nitrates mit 10% Nitron in 5prozentiger Essigsäure dargestellt. Die Zeichnungen sind etwas schematisiert.
- Fig. 8. *Ballota nigra*, Vegetationskegel längs. Vergr. 48.
- Fig. 9. *Bryonia dioica*, Blattstiel längs. Vergr. 30.
- Fig. 10. *Lupinus albus*, Hypokotyl längs. Vergr. 10.
- Fig. 11. *Iris germanica*, Wurzelstock (*rh*) quer u. Wurzel (*w*) längs. Vergr. 10.
- Fig. 12. *Tradescantia guianensis*, Stengel längs. Vergr. 48.
- Fig. 13. *Cucurbita Pepo*, Kotyledo quer. Vergr. 51.
- Fig. 14. *Sambucus nigra*, Zweig längs. Vergr. 48.

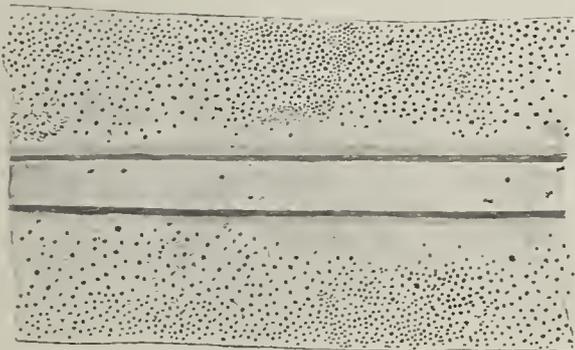




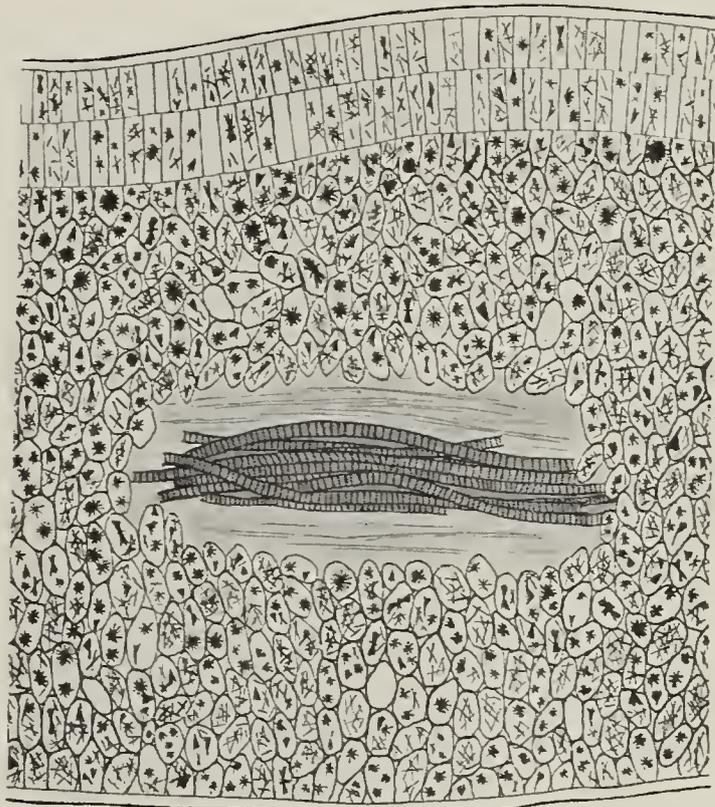
11.



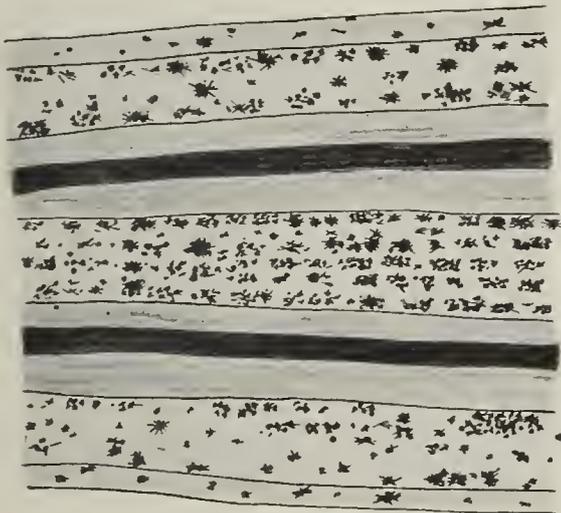
14.



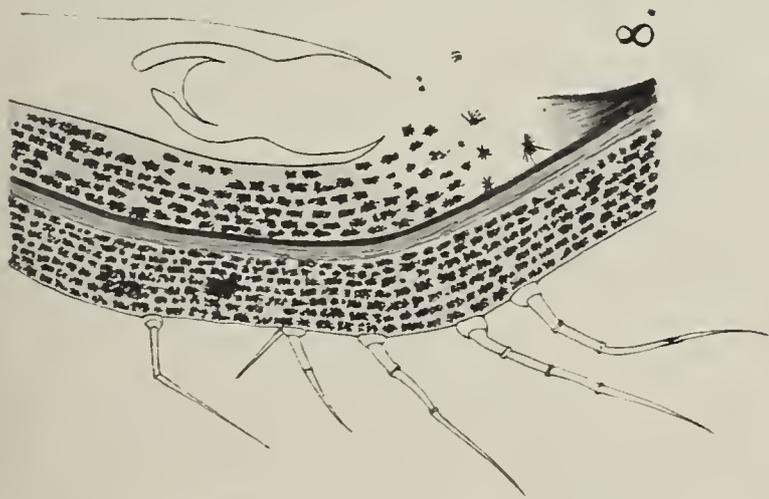
10.



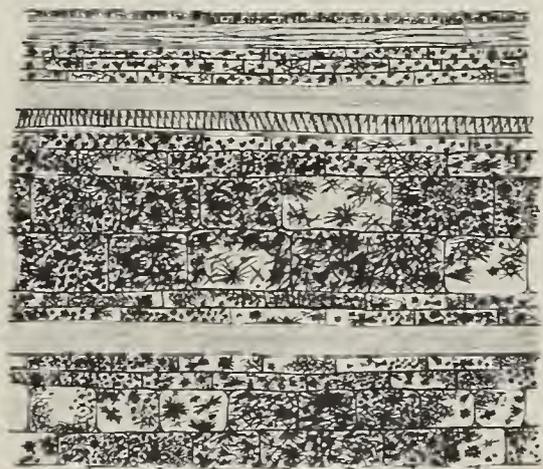
13.



9.



8.



12.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Botanisches Centralblatt](#)

Jahr/Year: 1913

Band/Volume: [BH_30_1](#)

Autor(en)/Author(s): Kroll Günther H.

Artikel/Article: [Wind und Pflanzenwelt. Eine Studie. 122-166](#)