

# DIE TRANSPIRATION DER PFLANZEN.

EINE PHYSIOLOGISCHE MONOGRAPHIE

VON

DR. ALFRED BURGERSTEIN,  
A. O. UNIVERSITÄTSPROFESSOR IN WIEN.



JENA.  
VERLAG VON GUSTAV FISCHER.  
1904.

Soeben erschienen:

## Die Theorie der direkten Anpassung und ihre Bedeutung für das Anpassungs- u. Deszendenzproblem.

Versuch einer methodologischen Kritik des Erklärungsprinzips und der botanischen Tatsachen des Lamarckismus von Dr. phil. Carl Detto, Assistent am botanischen Institut der Universität Jena. Mit 17 Abbildungen im Text. Preis: 4 Mark.

Inhalt: I. Methodologische Voraussetzungen. — II. Die organische Zweckmäßigkeit und das Ausgangsproblem. — III. Die Lamarckistischen Theorien, ihr Erklärungsprinzip und ihre Konsequenzen. — IV. Die Tatsachen der direkten Anpassung und die Möglichkeit ihrer kausal-physiologischen Deutung. — V. Indirekte Ökogenese als Erklärungsprinzip der Selektionstheorie.

Soeben erschien:

## Die Keimpflanzen der Gesneriaceen mit besonderer Berücksichtigung von *Streptocarpus*, nebst vergleichenden Studien über die Morphologie dieser Familie. Von Dr. Karl Fritsch, o. ö. Prof. der Botanik an der k. k. Universität in Graz. Mit 38 Abbildungen im Text. Preis: 4 Mark 50 Pf.

## Die Farngattung *Nipholobolus*. Eine Monographie. Von Dr. K. Giesenhagen, Prof. der Botanik in München. Mit 20 Abbildungen. 1901. Preis: 5 Mark 50 Pf.

## Organographie der Pflanzen insbesondere der Archegoniaten und Samenpflanzen. Von Dr. K. Goebel Professor a. d. Universität München. Erster Teil: Allgemeine Organographie. Mit 130 Abbildungen im Text. 1898. Preis: 6 Mark.

Zweiter Teil: Spezielle Organographie. 1. Heft: Bryophyten. Mit 128 Abbildungen im Text. 1898. Preis: 3 Mark 80 Pf. 2. Heft: Pteridophyten und Samenpflanzen. Erster Teil. Mit 173 Abbildungen im Text. 1900. Preis: 7 Mark. Zweiter Teil (Schluß des Ganzen). Mit 107 Textabbildungen. 1901. Preis: 5 Mark.

## Über Erblichkeit in Populationen und in reinen Linien.

Ein Beitrag zur Beleuchtung schwebender Selektionsfragen. Von W. Johannsen, Prof. der Pflanzenphysiologie an der Kgl. dänischen landw. Hochschule in Kopenhagen. Preis: 1 Mark 50 Pf.

Inhalt: Zweck der Untersuchung. Samengröße der Bohnen. Die relative Breite der Bohnen. Schartigkeit der Gerste. Zusammenfassung und Rückblick.

Wiener landwirtschaftliche Zeitung Nr. 85 v. 24. Okt. 1901, Jahrg. 53:

Das kleine, aber inhaltreiche Werk stellt vor allem einen hochbedeutsamen Fortschritt in der Lehre von der Zuchtwahl oder Selektion dar. . . .

Botanische Zeitung Nr. 4 v. 16. Febr. 1904, Jahrg. 62:

Nach der Ansicht des Ref. ist das vorliegende kleine Buch (mit de Vries' Oenothera-Versuchen) der wichtigste Beitrag zur Artbildungsfrage, der in der letzten Zeit erschienen ist; wir dürfen auf die weiteren einschlägigen Mitteilungen sehr gespannt sein . . .

## Vorlesungen über Pflanzenphysiologie. Von Dr. Ludwig Jost, a. o. Prof. an

der Universität Straßburg. Mit 172 Abbildungen. Preis: brosch 13 Mark, geb. 15 Mark.

Flora, 1904. Bd. 93, H. 2.

. . . Die Darstellung ist klar, kritisch und reichhaltig und oft durch historische Rückblicke belebt. Die Jost'schen Vorlesungen werden deshalb als eine treffliche Einführung in das Studium der Pflanzenphysiologie begrüßt werden. Auch für Berufsbotaniker ist das Buch wertvoll durch die eingehende Berücksichtigung und Diskussionen, welche die neuere pflanzenphysiologische Literatur in ihm gefunden hat. Solche orientierende Darstellungen sind ja um so notwendiger, je mehr die Entwicklung der Botanik es unmöglich macht, in allen ihren Gebieten die Literatur zu verfolgen, besonders aber in der Physiologie, welche die Grundlage für alle anderen Teile der Botanik darstellt.

## Lehrbuch der Pharmakognosie des Pflanzenreiches.

Von Dr. George Karsten, a. o. Professor der Botanik an der Universität Bonn. Für Hochschulen und zum Selbstunterricht. Mit Rücksicht auf das neue Deutsche Arzneibuch. Mit 528 Abbildungen im Text. Preis: 6 Mark, gebunden 7 Mark.

# DIE TRANSPIRATION DER PFLANZEN.

EINE PHYSIOLOGISCHE MONOGRAPHIE

VON

**DR. ALFRED BURGERSTEIN,**  
A. O. UNIVERSITÄTSPROFESSOR IN WIEN.



JENA.  
VERLAG VON GUSTAV FISCHER.  
1904.

Übersetzungsrecht vorbehalten.

DUPLICATE

Released From

BOTANICAL LIBRARY

UNIVERSITY OF PENNSYLVANIA

*D. Whitefield* Librarian

## Vorwort.

Die unaufhaltsame Zunahme und Vertiefung des Studiums auf allen Gebieten der Naturwissenschaft bedingt eine immer weitergehende Arbeitsteilung; durch das riesige Anwachsen der Literatur stellt sich zugleich das Bedürfnis heraus, die über wichtige und in gewissem Sinne umgrenzte Fragen erzielten Resultate zeitweise in resumierenden Abhandlungen zusammenzufassen. Seit vielen Jahren nehme ich mir Mühe, dasjenige im Original kennen zu lernen, was über die Transpiration der Pflanzen veröffentlicht wurde; diesbetreffende, übersichtlich geordnete, z. T. kritische Literaturauszüge habe ich unter dem Titel: „Materialien zu einer Monographie, betreffend die Erscheinungen der Transpiration der Pflanzen“ in den Verhandlungen der K. K. Zoologisch-botanischen Gesellschaft in Wien veröffentlicht (I. Teil 1878; II. 1880; III. 1901). Meiner Ansicht, daß eine Sichtung und Zusammenstellung der großen Menge gemachter Beobachtungen und ausgesprochener Meinungen, die wir über die Transpiration der Pflanzen besitzen, einen doppelten Nutzen: rasche Orientierung über Altes und Anregung für Neues haben werde, wurde von fachmännischer Seite wiederholt durch öffentliche Äußerungen beipflichtet. Hier einige Belege:

Verschaffelt (263): „Wij verzenden den lezer naar de bibliographie, die zeer volledig door Burgerstein gegeven wordt. Het ware in alle geval een belangrijk en loonend werk, der invloed van verscheidene, niet schadelijke gassen en dampen op de transpiratie te onderzoeken. — Bessy and Woods (266): „Free use has been made for the admirable papers by A. Burgerstein, modestly called by him „Materialien etc. They contain excellent summaries of 242 papers upon transpiration“. — Woods (286): „Burgerstein's papers make a most valuable contribution to the literature of

transpiration and are invaluable to one, who desires to make a critical study of the subject.“ — Stahl (293) „. . die schon überreiche Transpirationsliteratur, die in Burgerstein einen verdienstvollen Monographen gefunden hat“. — Wollny (294): „. . . eine vorzügliche Zusammenstellung der Literatur bei A. Burgerstein.“ — Stenström (305): „Für die Orientierung in der weitläufigen Transpirationsliteratur leisten ausgezeichnete Dienste Burgerstein's „Materialien“. — Kusano (342): „A fuller account with regard to transpiration is to be found in Burgerstein's excellent work „Materialien etc.“ — Kohl (Bot. Jahresb. XVII. Bd., S. 62): „Mit außerordentlichem Fleiße ist vom Verf. reiches Material zusammengetragen worden, welches späteren Forschungen als sehr brauchbare Grundlage dienen wird.“ — Matouschek (Bot. Centr.-Blatt 87. Bd.): „Somit stellen uns des Verf. „Materialien“ ein Handbuch vor, das für Physiologen und für Detailforscher direkt unentbehrlich ist.“

Ich habe mich deshalb entschlossen, eine monographische Bearbeitung des Gegenstandes zu versuchen. Das vorliegende Opusculum bildet aber nicht eine reine Kompilationsarbeit, sondern enthält auch eigene, z. T. noch nicht veröffentlichte Beobachtungen. Die meisten Partien der „Materialien“ wurden für die vorliegende monographische Darstellung mehr oder weniger umgearbeitet.

In meinen „Materialien“ habe ich einer jeden der 354 angeführten Abhandlungen aus praktischen Gründen eine Nummer beigegeben. In dieser Monographie wurde dieselbe Numerierung beibehalten; durch Komplettierung und Fortführung der Literatur bis zum Abschluß des Manuskriptes (Ostern 1904) sind weitere 40 Druckschriften (Nr. 355—394) hinzugekommen. Bei jenen Autoren, bei denen nur eine Arbeit angeführt ist, konnte von dem Beisatz der Nummer (in Klammern) im Texte abgesehen werden, da die betreffende Arbeit in dem alphabetisch geordneten Literaturverzeichnis direkt ersichtlich ist. Abhandlungen, die einzelne anatomische, mit der Transpiration zusammenhängende Angaben, aber keine Transpirationsversuche enthalten, erscheinen nicht im Literaturverzeichnis; die betreffenden Publikationsdaten sind an der entsprechenden Stelle im Texte angeführt. Die beigegebenen Figuren sind genaue Reproduktionen der Originalabbildungen; bei einigen erschien der größeren Gleichförmigkeit wegen eine Reduktion der Bildgröße als zweckmäßig.

Daß die vorliegende Monographie jedem, der sich mit Transpirationsfragen experimentell oder literarisch beschäftigen will, willkommen sein dürfte, glaube ich sagen zu können. Zur Illustration führe ich nur das folgende an. Im Jahre 1889 erschien eine Schrift

von Dr. Oskar Eberdt, betitelt: „Die Transpiration der Pflanzen und ihre Abhängigkeit von äußeren Bedingungen“. In der Einleitung sagt der Verfasser, die Abhandlung enthalte (mit Ausnahme der Arbeiten über den Einfluß der physikalischen und chemischen Beschaffenheit des Bodens auf die Transpiration) „alles, was bis jetzt über das oben angegebene Thema geschrieben worden ist.“ Diese Ansicht ist naiv, da von den bis zum Jahre 1888 erschienenen Publikationen, die sich entweder ausschließlich oder zum Teil mit dem oben angegebenen Thema experimentell beschäftigen, mehr als die Hälfte in Eberdt's Schrift fehlt, darunter die wichtigeren Arbeiten von Barthélemy (101), Hartig (124, 152), Vesque (126, 160), Detmer (129), Sorauer (158), Comes (165), Nobbe (186), Hellriegel (198), Leclerc (200), Bonnier (205), Henslow (229). Auch der bereits 1887 erschienene erste Teil meiner „Materialien“ wird nicht angeführt.

In derselben „Einleitung“ zitiert Eberdt meinen im Jahre 1878 veröffentlichten Aufsatz: „Über den Einfluß äußerer Bedingungen auf die Transpiration der Pflanzen“ und bemerkt hierzu: „Die Zusammenfassung der einzelnen Arbeiten ist freilich manchmal etwas zu kurz geraten, auch vermißt man oft die versprochene kritische Beleuchtung. Dies letztere erscheint mir allerdings natürlich genug. Denn in unserer Wissenschaft kann, meines Erachtens zur Kritik eines Versuches nur derjenige berufen sein, der selbst den Versuch wiederholt hat.“ Ich habe diesbezüglich eine andere Ansicht. Ich glaube nämlich, daß wenn jemand, mit der nötigen Fachbildung ausgestattet, über ein Thema, z. B. über die Transpiration der Pflanzen manches selbst gearbeitet und vieles gelesen hat, er wohl imstande und berechtigt sein wird, über Versuche eines anderen ein Urteil abzugeben; wiederholt er aber einen „Versuch“, so muß er denselben auch exakt ausführen. Wenn beispielsweise ein solcher Kritiker ermitteln will, wieviel Wasser die Blätter durch Transpiration abgeben, so darf er nicht feststellen, wieviel Wasser die Wurzeln aufnehmen und die gefundenen Zahlen als Transpirationswerte proklamieren.

Indem ich die vorliegende Monographie einer freundlichen Beachtung und wohlwollenden Beurteilung empfehle, sage ich gleichzeitig dem rühmlich bekannten Herrn Verleger für sein liberales Entgegenkommen aufrichtigen Dank.

A. Burgerstein.





# Inhaltsübersicht.

Seite

## I. Begriffsbestimmung.

Transpiration im weiteren und im engeren Sinne; Guttation. — Besondere Termini bei einzelnen Autoren. — Kutikulare und stomatare, beziehungsweise epidermoidale und interzellulare Verdunstung . . . . . 1—4

## II. Untersuchungsmethoden.

Direkte Wägung; Verwendung von Topfpflanzen, Nährstoffkulturen, abgetrennter Sprosse und Blätter. — Methode von Guettard. — Verwendung hygroskopischer Substanzen (Chlorkalziummethode). — Methode von Merget. — Stahl's Kobaltmethode. — Die Wasseraufnahme als Maß der Transpiration; Unzulässigkeit dieser Methode für die Gewinnung exakter Resultate. — Apparate von Kohl, Pfeffer, Vesque, Krutitzky, Copeland. — Reduktion der gefundenen Transpirationswerte auf eine bestimmte Einheit; Oberflächenbestimmung . . . . . 4—28

## III. Beziehungen des Blattbaues.

Spaltöffnungszahl; relative Transpirationsgröße beider Blattseiten. — Einfluß äußerer Bedingungen auf den Öffnungszustand der Spaltöffnungen. — F. Darwin's Hygroskope. — Stomata mit chlorophyllfreien Schließzellen. — Epidermoidale Verdunstung, Wachsüberzüge, verstopfte Spaltöffnungen, Haarbildungen. — Zellinhaltsstoffe; Chlorophyll, Anthokyan (grüne, gelbe, rote Blätter); organische Säuren. — Ursachen der langsamen Wasserabgabe der Sukkulenten. — Interzellularen . . . . . 28—47

## IV. Einfluß äußerer Bedingungen auf die Ausbildung des Mesophylls.

Einfluß der Beleuchtung und Luftfeuchtigkeit, des Wassergehaltes des Bodens, der Höhenlage auf die Ausbildung des Mesophylls insbesondere des Pallisadengewebes . . . . . 47—54

## V. Transpirationsverhältnisse korrelativer Blätter.

Sonnen- und Schattenblätter. — Junge und alte Blätter. — Diesjährige und vorjährige Blätter. — Keim- und Primärblätter. — Laub- und Nadelhölzer. — Halophyten. — Vergleich der Verdunstungsgröße benetzt gewesener mit der unbenetzt gebliebener Blätter . . . . . 54—68

## VI. Orchideenteile, Gramineenähren, Laubfall.

Orchideentriebe und Orchideenluftwurzeln. — Pfropfreiser. — Transpiration  
 begrannter und entgrannter Gerstenähren. — Verdunstungsgröße und Substanz-  
 bildung bei der Gerstenpflanze. — Beziehungen der Transpiration zum Laubfall. —  
 Welkerscheinungen von in Luft oder unter Wasser abgeschnittener, beblätterter  
 Sprosse. . . . . 69—74

## VII. Periderm, Lentizellen.

Peridermbesitzende, blattlose ein- und mehrjährige Zweige. — Saft- und Wund-  
 periderm. — Kartoffel. — Durchlässigkeit der Lentizellen für Gase in verschie-  
 denen Jahreszeiten. — Beeinflussung der Transpiration durch die Rindenzellen 74—79

## VIII. Blüten, Früchte, Samen, Knollen.

Blütenknospen. — Aroideenkolben. — Relative Transpirationsgröße der Blüten  
 und Laubblätter. — Wasserabgabe von Früchten, Samen, unterirdischen Stämmen 80—83

## IX. Kryptogamen.

Pilze, Moose . . . . . 84—85

## X. Licht im allgemeinen.

Einfluß des Lichtes verschiedener Helligkeit. — Elektrisches Bogenlicht. —  
 Gang der Transpiration beim Wechsel der Beleuchtung; Nachwirkung. — Ver-  
 dunstungsgröße bei direkter Insolation der Oberseite resp. der Unterseite des  
 Laubes. . . . . 85—95

## XI. Lichtstrahlen bestimmter Brechbarkeit.

Theorie von Dehérain über den Zusammenhang zwischen Lichtfarbe, Trans-  
 spiration und Kohlensäurezerlegung. — Versuche von Wiesner, Comes, Nobbe,  
 Helriegel, Henslow, Wollny. — Wiesners Erklärung der Lichtwirkung auf die  
 Transpiration . . . . . 95—103

## XII. Luftkohlendioxid.

Versuche von Jumelle, Verschaffelt, Barthélemy, Sorauer, Kohl. — Hypo-  
 thesen von Sorauer und Kohl über die Lichtwirkung auf die Transpiration im Zu-  
 sammenhange mit Assimilation und Atmung . . . . . 104—114

## XIII. Lufttemperatur.

Einfluß der Luftwärme auf die Wasserabgabe und Wasseraufnahme. —  
 Welken bei nahe dem Nullpunkt stehenden Wärmegraden. — Transpiration bei  
 Temperaturen unterhalb des Gefrierpunktes des Wassers. — Wirkung der dunklen  
 Wärmestrahlen. . . . . 115—121

## XIV. Luftfeuchtigkeit; Wasserabgabe im dunstgesättigten Raum.

Einfluß der Luftfeuchtigkeit auf die Transpiration. — Versuche und An-  
 sichten über die Transpiration im dunstgesättigten Raum; Notwendige Exaktheit  
 derartiger Experimente und Unzulänglichkeit mancher bisheriger Beobachtungen 121—128

## XV. Luftbewegung, Erschütterungen.

Grundlegende Versuche Wiesner's über den Einfluß der Luftbewegung auf die Transpiration. — Wirkung schwacher und starker Erschütterungen . . . 128—132

## XVI. Luftdruck.

## XVII. Ätherische Öle, Ätherwirkung.

Transpiration in den Dämpfen eines ätherischen Öles. — Einfluß des Äthers und Chloroforms auf die Transpiration . . . . . 133—136

## XVIII. Wassergehalt und Temperatur des Bodens.

Einfluß der Bodenfeuchtigkeit auf die Transpiration. — Wassergehalt verschiedener Bodenarten, bei dem Pflanzen welken. — Einfluß der Bodenwärme. — Verhalten von Pflanzen bei Bodentemperaturen knapp über dem Nullpunkt 136—141

## XIX. Chemische Stoffe.

Säuren, Alkalien. — Einzelne Nährsalze und Nährsalzgemische (Nährstofflösungen). — Chloride. — Borax. — Kalkmilch. — Huminsubstanzen. — Kampfer. — Arsen. — Schweflige Säure . . . . . 141—149

## XX. Mykorrhiza.

Stärke- und Zuckerblätter. — Zusammenhang zwischen Wurzelverpilzung und Transpiration . . . . . 149—150

## XXI. Periodizität.

Ansichten über die Existenz einer von äußeren Verhältnissen unabhängigen Periodizität der Transpiration . . . . . 150—154

XXII. Bilanz zwischen Wasserverbrauch und Regenmenge.  
Absolute Transpirationsgrößen.

Unzulässigkeit, aus der für kurze Zeit beobachteten Transpiration eines Sprosses die Verdunstungsgröße der ganzen Pflanze während der Vegetationsperiode zu berechnen. — Bilanz zwischen Niederschlagsmenge und Wasserbedürfnis der Pflanze. — Absolute Transpirationsgrößen verschiedener Pflanzen während einer längeren Vegetationsdauer. — Wasserverbrauch ganzer Wiesen, Felder, Wälder 154—158

## XXIII. Tote Pflanzenteile.

Wasserabgabe erfrorener Pflanzenteile, durch Chloroform getöteter Blätter, durch Alkohol getöteter Moose. — Erklärung des Erfrierens lebender Zellen . . 158—160

XXIV. Transpirationsverhältnisse im feuchtwarmen  
Tropengebiet.

Beobachtungen von Haberlandt, Giltay, Wiesner, Holtermann . . . 160—174

## XXV. Arktisches Gebiet.

Beobachtungen von Curtel, Wulff . . . . . 174—175

## XXVI. Guttation; Hydathoden.

Allgemeines. — Verzeichnis jener Pflanzengattungen, bei denen Guttation beobachtet wurde. — Spezielles über Aroideen. — Quantitative und qualitative Messungen des Guttationswassers. — Hydathoden; Rolle des Epithems. — Experimentelle Untersuchungen und aus denselben gezogene Schlüsse von G. Haberlandt einerseits, von Nestler, Minden, Spanjer, Dixon, Edelstein, Lepeschkin andererseits. — *Lathraea*. — Wasserkerleche. — Apikalöffnungen und Transpirationsstrom der Wasserpflanzen. — Nichttranspirationsfähige Gewächse . . . . . 176—197

## XXVII. Schutzeinrichtungen.

A. Einrichtungen, durch welche die Verdunstungsgröße herabgesetzt wird:

Blattlage. — Reduktion der Belaubung. — Verdickung und Kutikularisierung der äußeren Epidermiszellwände. — Wachs- und Harzausscheidungen. — Epidermale Kalkbildungen. — Haarbedeckung. — Spaltöffnungen. — Zellsaft. — Verkleinerung der inneren Verdunstungsfläche. — Ausscheidung ätherischer Öle. — Variationsbewegungen. — Einrollung und Faltung der Blätter. — Intrapetiolare Knospenbildung, Nebenblätter. — Polsterwuchs. — Kurze Vegetationszeit . 197—221

B. Einrichtungen für die Wasserversorgung:

Tiefgehende Wurzeln. — Wasserspeichernde Gewebe. — Deplacement des Wassers. — Hohe Temperatur isolierter Sukkulenten. — Aufnahme von Regen und Tau durch die Oberfläche der Blätter und Zweige. — Kondensierung der Luftfeuchtigkeit durch Sekretion hygroskopischer Salze . . . . . 221—237

C. Diverses:

Australische Eukalypten. — Javanische Flora. — Boselpflanzen. — Wasserabgabe von Obstbäumen als Maßstab ihrer Anbaufähigkeit . . . . . 238—240

## XXVIII. Förderungsmittel der Transpiration.

Anatomische Eigentümlichkeiten. — Träufelspitze. — Nyktitropismus. — Anthokyan . . . . . 240—243

## XXIX. Bedeutung der Transpiration für den Transport der Nährstoffe.

Die Transpiration als notwendiges Übel und als Prozeß von physiologischer Bedeutung . . . . . 243—250

## XXX. Kompilatorisches.

250

## I. Begriffsbestimmung.

---

Transpiration im weiteren Sinne des Wortes ist die Erscheinung des Wasseraustrittes aus unverletzten Pflanzenteilen. Als Transpiration im engeren Sinne pflegen die Physiologen die Ausscheidung von Wasser in Gasform aus lebenden Geweben unverletzter Pflanzen (oder Pflanzenteile) zu bezeichnen. Kommt es (in sehr feuchter Luft und bei starkem Blutungsdruck) an oberflächlich liegenden Stellen (insbesondere der Blätter) zur Bildung sichtbarer Wassertropfen, so tritt uns die Transpiration (Evaporation) in jener Form entgegen, für die ich (Mat. II) die Bezeichnung „Guttation“ vorgeschlagen habe.

Van Tieghem (231) hat auf Grund der Studien Wiesner's (127) über den Umsatz der vom Chlorophyll absorbierten Lichtstrahlen in Wärme den Transpirationsbegriff enger gezogen, als dies bis dahin gebräuchlich war. Van Tieghem bezeichnet nämlich als „Transpiration“ die Wasserabgabe chlorophyllfreier Organe; sie erhöht sich zwar mit der Zunahme der Lichtintensität, ist aber an die Mitwirkung des Lichtes nicht gebunden. Wird dagegen ein chlorophyllführendes Gewebe hinreichend belichtet, so tritt zu der „Transpiration“ noch die „Chlorovaporisation“ (Chlorotranspiration) hinzu, welche auf die Chlorophyllkörper („chloroleucites“) lokalisiert ist und nur im Lichte starker Helligkeit stattfindet. Mit anderen Worten: die Transpiration im Sinne van Tieghem's ist (gleich der Respiration) eine „fonction protoplasmique“, die Chlorovaporisation ist (gleich der Kohlensäurezerlegung) eine „fonction phytochlorophyllienne“. Gegen die van Tieghem'sche Distinktion ist zu bemerken, daß die Transpiration chlorophyllfreier Organe nicht immer eine Funktion des Protoplasmas ist, da auch Gewebezellen, die kein Plasma mehr führen, Wasser abgeben, ferner, daß nicht nur das Chlorophyll, sondern auch andere Farbstoffe

(Etiolin, Anthokyan) und Zellinhaltskörper Lichtstrahlen absorbieren und dadurch die Temperatur der Gewebe erhöhen.

Auch Henslow (229) unterscheidet eine Protoplasma- und eine Chlorophylltranspiration. Dieser Forscher hat, die Lichtversuche Wiesner's (127) bestätigend und erweiternd, gefunden, daß bei Pilzen (*Boletus* usw.) und bei etiolierten Sprossen Lichtstrahlen bestimmter Brechbarkeit einen spezifischen Einfluß auf die Erhöhung der Transpiration ausüben, welche Transpirationssteigerung in diesen Fällen nach Henslow eine „function of living colourless protoplasm“ ist. Zu dieser, allen Pflanzen zukommenden Protoplasmatranspiration kommt nach dem genannten Autor bei hinreichend belichteten, chlorophyllführenden Geweben noch die Chlorophylltranspiration hinzu. Aber abgesehen davon, daß das Plasma etioliertes Pflanzenteile nicht „colourless“ ist, müßte man für die Wasserabgabe von Zellen mit farblosem Plasma und weiters noch für die Transpiration chlorophyllführender und nicht belichteter Gewebe besondere Namen vorschlagen.

Hoehnel (153) hat zur Bezeichnung des Wasseraustrittes einerseits aus den Epidermiszellen, andererseits aus den Spaltöffnungen die Ausdrücke kutikulare und stomatäre Transpiration gebraucht. Von Wiesner (238) wurden die Termini „epidermoidale“ und „interzellulare“ Transpiration gewählt, da die Transpiration der Spaltöffnungsschließzellen einen Teil der Verdunstung der Epidermis bildet. Dieser epidermalen Wasserabgabe stellt sich die Transpiration des Mesophylls gegenüber, dessen Interzellularen mit den Spaltöffnungen kommunizieren. Sind die letzteren geschlossen oder verstopft, so hört die interzellulare Transpiration auf, während die Schließzellen noch weiter Wasser nach außen abgeben können.

Der Wiesner'sche Ausdruck „epidermoidale“ scheint mir besser, weil allgemeiner als der „kutikulare“ Transpiration Höhnel's; andererseits halte ich den Ausdruck „stomatäre“ Transpiration bezeichnender als den „interzellulare“, weil ich als Transpiration nur die äußere Erscheinung, d. i. den unmittelbaren Austritt des Wassers aus der Pflanze, nicht auch die Wasserausgabe aus den Mesophyll- und anderen Innenzellen in die Interzellularen verstehen will und weil es naheliegend ist, mit dem Namen stomatäre Transpiration nur den Wasseraustritt aus den Spaltöffnungen, nicht auch den aus den Schließzellen zu verstehen. Streng genommen kann ja von den Schließzellen des Spaltöffnungsapparates Wassergas teils direkt nach außen, teils in die Atemhöhle abgegeben werden, so daß sie sich nicht nur an der epidermalen sondern auch an der interzellularen

Verdunstung im Sinne Wiesner's beteiligen. Bei peridermbesitzenden Pflanzenteilen könnte man *mutatis mutandis* von peridermoidaler und von lentizellarer Transpiration sprechen.

Aloi (264) unterscheidet zwischen „Transpiration“ und „Exhalation“. Erstere ist die Wasserabgabe durch die Stomata lebender Pflanzenteile und eine physiologische Funktion; zur „Exhalation“, einem nach Aloi physikalischen Prozeß, rechnet er die Kutikularverdunstung sowie auch die Wasserabgabe toter Pflanzenteile. Diese Unterscheidung ist aber schon deshalb nicht empfehlenswert, weil es vollkommen korrekt ist, bei lebenden Pflanzenteilen auch von einer kutikularen (epidermoidalen) Transpiration zu sprechen. Wollte man die Vorschläge von Tieghem, Henslow, Aloi akzeptieren und vereinigen und dabei Rücksicht nehmen auf Plasma und Zellsaft, Chlorophyll und Etiolin, lebende und tote Zellen, Licht und Dunkel, so müßte man so viele physiologische Arten und Varietäten der Transpiration unterscheiden, daß dies nur zur Verwirrung führen würde. Es empfehlen sich daher zur Bezeichnung der Wasserausgabe aus unverletzten lebenden Pflanzen beziehungsweise Pflanzenteilen folgende Termini:

A. Austritt des Wassers aus der Pflanze in Gasform: *Transpiration*.

a) aus dem Hautgewebe (Epidermiszellen inkl. Schließzellen, Haare, Epithel, Peridermzellen): *epidermoidale Transpiration*.

b) aus den mit den Interzellularen kommunizierenden Spaltöffnungen (Luftspalten, Wasserspalten, Lentizellen): *stomatäre Transpiration*.

B. Austritt des Wassers (aus den Hydathoden) in Tropfenform: *Guttation*.

Duhamel und Senebier bezeichneten als „*transpiration insensible*“ jenen Vorgang, den wir heute Transpiration schlechtweg nennen; als „*transpiration sensible*“ die Ausscheidung von Wassertropfen, von Harz, Honigtau usw. — De Candolle nannte den Gewichtsverlust, den an der Luft liegende, spaltöffnungsfreie Pflanzenteile (Wurzeln, Knollen, Samen) erleiden, „*deperdition insensible*“; die mit spaltöffnungsführendem Hautgewebe versehenen Pflanzenteile unterliegen außerdem noch der „*exhalation aqueuse*“ — Barthélemy unterscheidet drei Formen der „*exhalation aqueuse*“: a) die *exhalation insensible*, b) die *exhalation (émission) brusque de gaz saturés* und c) die „*exsudation accidentelle*“ (suintement). Die erste entspricht etwa der epidermoidalen, die zweite der stomatären Transpiration, die dritte der Guttation. Nicht unpassend bezeichnet Duchartre (55) die Tropfenausscheidung an der Blattspitze der Colocasion als „*transpiration liquide*“.

## II. Untersuchungsmethoden.

---

Unter den verschiedenen Methoden, welche zur Bestimmung der Transpirationsgröße in Anwendung gebracht wurden, lassen sich im wesentlichen die folgenden sechs unterscheiden, die je nach Versuchsmaterial und Versuchszweck verschiedene Modifikationen zulassen oder erfordern.

I. Direkte Wägung der Pflanze (des Pflanzenteiles) beziehungsweise Ermittlung der Gewichts Differenz des das Versuchsobjekt enthaltenden Apparates am Beginn des Versuches und nach einer bestimmten Zeit.

II. Aufsammlung und Wägung (resp. volumetrische Messung) des von der Pflanze in einem allseitig geschlossenen Raume abgegebenen und kondensierten Wasserdunstes.

III. Bestimmung der Gewichtszunahme von Wasser absorbierenden, mit dem Versuchsobjekt eingeschlossenen Substanzen (ausgeglühtes Chlorkalzium, konzentr. Schwefelsäure).

IV. Verwendung von mit solchen Substanzen imprägnierten Papieren, die sich je nach dem Grade der Feuchtigkeitsaufnahme verfärben (Palladiumchlorür, Kobaltchlorür).

V. Benützung besonderer (eventuell selbstregistrierender) Apparate, mittels derer die Transpirationsgröße bestimmt wird.

VI. Ermittlung des von der Pflanze (dem Pflanzenteile) aufgenommenen Wasserquantums.

Die erste Methode liefert die verlässlichsten Resultate. Den natürlichen Verhältnissen am nächsten kommt man durch Verwendung von gesunden, unverletzten Topfpflanzen. Hierbei sollen verschiedene Umstände beachtet werden. Die Pflanzen dürfen nicht erst kurz vor Beginn des Versuches in die für sie bestimmten Gefäße (Töpfe) versetzt werden, da hierbei namentlich beim Ausheben aus dem Freilande gerade die feinsten, wasseraufnehmenden Wurzelfasern leicht abgerissen oder sonst verletzt werden. Die Gefäße müssen, um die Bodenverdunstung auszuschließen, möglichst gasdicht verschlossen sein, zu welchem Zwecke sich gutes (dichtes) Stanniol oder „Kautschukpapier“ eignet. Ein absolut luftdichter Verschluss ist schwer ausführbar und auch nicht immer unbedingt nötig. Zweckmäßig ist die Verwendung von Blumentöpfen aus starkem Glas oder aus glasiertem Steingut mit eben geschliffenem Rande und nicht durchlochten Boden. Die Deckung erfolgt durch eine behufs Stengel-



durchtrittes zentralperforierte, halbierte Glasscheibe mittels Knetwachs, Glaskitt u. dgl.

Wenn sich die Transpirationmessungen mit demselben Versuchsindividuum über mehrere Tage erstrecken, und die Resultate auf eine bestimmte Oberfläche oder Gewichtseinheit reduziert werden sollen, wären bei gewissen Fragen Pflanzen zu wählen, die langsam wachsen, weil sich bei rascher Blattentwicklung die Größe der transpirierenden Oberfläche von Tag zu Tag nicht unbedeutend ändert. Ferner soll bei mehrtägiger Versuchsdauer das durch die Pflanze dem Boden entzogene Wasser diesem (womöglich täglich) ersetzt werden, da der Wassergehalt des Bodens die Verdunstungsgröße (insbesondere die stomatare) nicht unbedeutend beeinflußt. Zum Zweck der Wasserzufuhr kann die eine der erwähnten halbkreisförmigen Glasplatten ein Loch haben, das durch einen Korkstöpsel, Wattedropf u. dgl. verschlossen gehalten wird.

Masure (176) stellte Topfpflanzen von *Xeranthemum annuum* unverschlossen im Freien auf, daneben ein „Evaporimeter“ und notierte während dreieinhalb Monaten täglich morgens, mittags und abends sowohl den Gewichtsverlust der Topfpflanzen als auch den des Evaporimeters. Durch Subtraktion der „Evaporation“ von dem Gewichtsverluste der Topferde plus Pflanze wollte Masure die Größe der „Transpiration“ finden. Es ist selbstredend, daß der Autor auf diesem Wege nur eine falsche Vorstellung von der tatsächlichen Transpirationsgröße der Pflanze erhalten konnte; es fielen denn auch die Maxima der Bruttotranspiration und der „Evaporation“ in ganz verschiedene Zeitperioden.

Verwendet man in Nährstofflösung erzogene Landpflanzen, so ist zu bemerken, daß sich diese dann zwar nicht unter natürlichen Verhältnissen gegenüber Topfpflanzen befinden, jedoch mehrere Vorteile bieten: der schwankende Wassergehalt des Bodens ist eliminiert, der Zustand des Wurzelsystems ist leicht kontrollierbar, der gasdichte Verschluß ist bequemer herzustellen. Bei der Auswahl „möglichst gleicher“ Topfpflanzen zu physiologischen Versuchen wird die Entwicklung und der Zustand der Wurzeln in der Regel nicht beachtet; wir wissen jedoch insbesondere nach den Erfahrungen von Sorauer (158, 178), daß sich die Transpirationsgröße einer Pflanze für dieselbe Blattfläche bei einem größeren Wurzelkörper erhöht und daß wurzelkranke Pflanzen unter Umständen nur die Hälfte der Verdunstungsmenge wurzelgesunder Exemplare leisten. Bei Benützung von Nährstoffkulturen sollen die Versuchspflanzen in der Nährstofflösung schon erzogen und nicht erst unmittelbar vor dem Versuch aus dem Boden ausgehoben und in die Lösung (resp. in Wasser) versetzt werden, wie folgendes Beispiel zeigt: Giltay (348) verglich die Transpirations-

größe von Roggenpflanzen, die als Topfpflanzen verwendet wurden, mit solchen, deren Wurzeln nach Herausnahme aus der Topferde und Abspülung der anhaftenden Erdteilchen in mit Wasser gefüllte Glaszylinder tauchten; Töpfe und Glaszylinder standen in entsprechend verschlossenen Zinkbehältern. Fünf Versuchsreihen von je einer Woche Dauer ergaben, daß die im Boden wurzelnden Pflanzen stärker transpirierten als jene, deren Wurzeln sich im Wasser befanden. Das Transpirationsverhältnis zwischen Bodenpflanzen und „Wasserpflanzen“ war während des Tages gleich 27:13, während der Nacht gleich 19:12. Die Pflanzen mit Bodenwurzeln blieben während der ganzen Versuchszeit frisch, ihre Wasserabgabe wurde von der Witterung deutlich beeinflußt; auf die Transpiration der Exemplare mit den „Wasserwurzeln“ hatte die Witterung nur geringen Einfluß, die Wasserabgabe nahm von Tag zu Tag ab. Da zu Nährstoffkulturen Glasgefäße benützt werden, pflegt man bekanntlich die letzteren aus verschiedenen Gründen in passende Umhüllungen von Zinkblech, Holz, Pappe zu stellen; bei längerer Dauer eines Transpirationsversuches ist die Verwendung resp. Belassung dieser Schutzhüllen zweckmäßig.

Wählt man an Stelle bewurzelter Pflanzen abgeschnittene, beblätterte Zweige, so kann man nur auf gewisse Transpirationsfragen befriedigende Antworten erhalten; die Versuchszeit darf sich je nach Umständen nur auf eine oder mehrere Stunden erstrecken. Zu empfehlen ist es (mit Rücksicht auf die Beobachtungen von de Vries und v. Höhnel), die Zweige unter Wasser resp. unter einer Nährlösung abzuschneiden. Bei Experimenten mit einzelnen Blättern soll die Versuchsdauer für jedes Blatt (abgesehen von sukkulenten Gewächsen) 1—2 Stunden nicht überschreiten.

Abgetrennte Zweige, größere, langstielige Blätter, Infloreszenzen werden in dem Gefäß, das die zum Versuche bestimmte Flüssigkeit enthält, mittels eines gut passenden, zentralgebohrten und halbierten Korkes festgehalten; der freie Raum der Bohrung wird mit Wachs, Paraffin, Watte u. dgl. verschlossen. Für kleinere Zweige, Blätter, Blüten oder für Keimlinge kann man kurze Eprouvetten verwenden, an die man das betreffende Objekt mittels eines dünnen (event. übersponnenen) Blumendrahtes fixiert. Um den Hals der Eprouvette wird ein stärkerer Draht befestigt, der am freien Ende hakenförmig umgebogen ist, um den ganzen Apparat an die Wage aufhängen zu können. Zur Verhinderung der Verdunstung der freien Wasserfläche wird diese mit einer, einige Millimeter hohen Schichte von Olivenöl gedeckt. Das Eindringen des Öles in die Pflanze macht sich in der Regel erst am 3. oder 4. Tage äußerlich bemerkbar.

Wie groß der Unterschied der Resultate bei längerer Versuchsdauer sein kann, je nachdem man bewurzelte Pflanzen oder abgetrennte Blätter verwendet, dafür ein Beispiel. Bei einer eingetopften *Aucuba japonica* (Topf sorgfältig verschlossen) fand ich die 24stündige Transpiration in sechs aufeinanderfolgenden Tagen pro 100 qcm Blattspaltenoberfläche: 482, 520, 524, 610, 585, 601 mg (am Ende des dritten Tages wurde die Topferde begossen); gleichzeitig verlor ein nebenstehendes, mit dem Stil in Wasser tauchendes Aucubablatt pro 100 qcm: 304, 215, 144, 65, 62, 51 mg an Gewicht. Die Wasserabgabe war somit, auf die gleiche Fläche bezogen, beim abgetrennten Blatte nicht nur bedeutend kleiner als an der Pflanze, sondern verminderte sich außerdem so ansehnlich, daß sie bei geringer Verschiedenheit der äußeren Bedingungen am sechsten Tage nur noch  $\frac{1}{6}$  von jener des ersten Tages war. Es stellte ferner Ferruzza (mittels der Kobaltprobe) unzweifelhaft fest, daß ein abgetrenntes Blatt weniger transpiriert, als ein gleich großes, jedoch mit der ganzen Pflanze noch im organischen Zusammenhang stehendes. Richtig bemerkt dieser Autor, daß mit dem Momente der Abtrennung des Blattes in diesem zwar keine anatomische, wohl aber eine physiologische Veränderung eintritt. Die rasche und kontinuierliche Transpirationsabnahme abgetrennter Blätter erklärt sich aus der schon von Hales beobachteten sukzessiven Verminderung der Wasseraufnahme und der Verminderung des Filtrationsvermögens der Schnittfläche, durch die infolge Abnahme des Wassergehaltes sich einstellende Verengung der Spaltöffnungen etc. Die auf Grund von Beobachtungen von Krutitzky (175) gemachte Äußerung, daß die Wassereinsaugung und -verdunstung einzelner abgeschnittener Blätter eine größere sei, als die solcher, die im organischen Verbande mit der Pflanze stehen, kann in dieser allgemeinen Fassung nicht gelten.

Zur Wägung kleiner und leichterer Pflanzen resp. Apparate dienen analytische Wagen. Für größere Objekte empfehlen sich Balancewagen, da bei Wagen mit aufgehängten Schalen größere Pflanzen leicht über den Wagebalken hinausreichen und mit demselben kollidieren. Für Gewichtsbestimmungen kleiner Bäume und Sträucher (in Töpfen), größerer Stauden, großer Früchte (Kürbisse), überhaupt Lasten von mehr als zwei Kilogramm empfiehlt sich die in Fig. 1 abgebildete Wage, welche seinerzeit v. H o e h n e l für seine Untersuchungen der Transpirationsgröße forstlicher Holzgewächse konstruieren ließ; sie befindet sich gegenwärtig im Besitze des pflanzenphysiologischen Institutes der Wiener Universität. Die Firma J o s. N e m e t z in Wien, V. liefert eine solche Pflanzenwage, die für

20 Kilogramm Belastung per Schale auf 100 mg empfindlich ist, um den Preis von ca. 360 Mk.

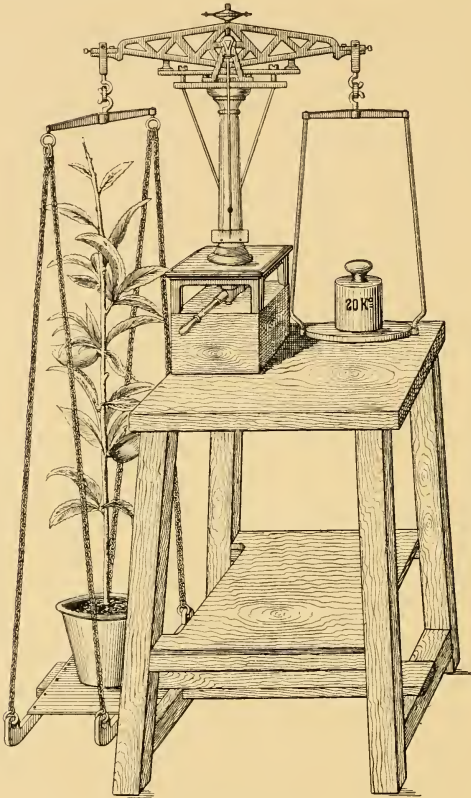


Fig. 1.

Große Pflanzenwage zu Transpirationsbestimmungen  
nach Hoehnel.

In dem genannten Universitätsinstitute befindet sich auch eine selbstregistrierend eingerichtete Wage von Richard freres in Paris. Dieses „evaporomètre enregistreur“ (Fig. 2) ist eine Balance-  
wage, auf deren eine Schale die Versuchspflanze gestellt wird; durch  
Auflage von Gewichten auf die zweite Schale wird die Wage äquili-

briert. Hebt sich infolge Wasserverlustes der Pflanze die eine Schale, so sinkt die andere; durch eine zweckmäßige Übertragung bewegt sich ein horizontaler Griffel, der einen um seine Längsachse (mittels eines Uhrwerkes) rotierenden Zylinder tangiert, um dessen Peripherie an kariertes Papier wie bei anderen Registrierapparaten befestigt ist. Wenn der leichtere Wagebalken bis auf den niedrigsten Stand sinkt, durchläuft der Griffel die Höhe des Zylinders. Durch ein Laufgewicht ist es möglich, den Schwerpunkt der Wage in verschiedene Entfernungen von der Drehachse zu bringen und sie dadurch so zu regu-

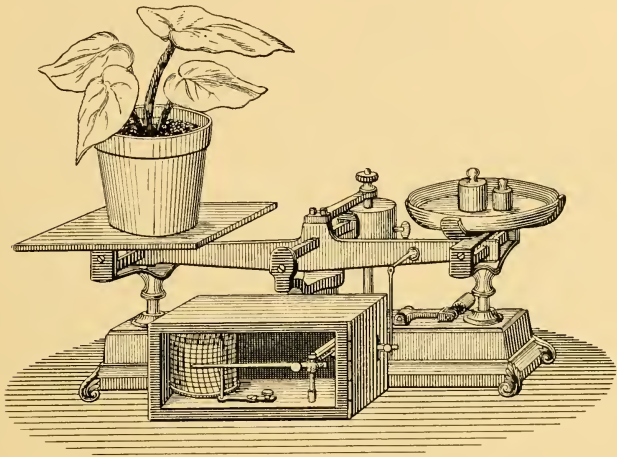


Fig. 2.

Evaporomètre enregistreur von Richard frères in Paris.

lieren, daß sie für 50 Gramm, aber auch für 500 Gramm eine wünschenswerte Empfindlichkeit besitzt. Die Konstrukteure haben noch eine Komplettierung der Wage erdacht, welche verhindert, daß dieselbe durch Luftbewegung zur Oszillation gebracht wird, wenn man mit ihr Versuche im Freien anstellt.

Sollen in besonderen Fällen die Wägungen in sehr kurzen Intervallen erfolgen, so ist es vorteilhaft, die Pflanze auf der Wage zu belassen. Bei gewissen Transpirationsfragen kann man dann statt der Konstatierung des Gewichtsverlustes der Pflanze für bestimmte Zeitteile — die Zeitdauer für bestimmte Gewichtsverluste ermitteln, indem man nach Äquilibration der Wage jedesmal ein gleiches Ge-

wicht abhebt und die Zeit notiert, in welcher der Wasserverlust der Pflanze die Wage wieder ins Gleichgewicht bringt. Die jeweilige Zeitdauer zur Erreichung des Gleichgewichtes ist der Transpirationsgröße umgekehrt proportioniert.

Baranetzky (94) hat orbi et urbi verkündigt, daß das Verfahren, die Pflanze zur jedesmaligen Wägung auf die Wage zu bringen, „unzulässig“ sei, da es immer „erhebliche Fehlerquellen“ verursacht. Denn die leisesten mechanischen Erschütterungen seien schon imstande, die Spannungen im Inneren der Pflanze derart zu ändern, daß die Spaltöffnungen teilweise geschlossen und die Transpiration dadurch vermindert wird. Das Beben des Fußbodens beim Vorübergehen oder das Vorüberfahren eines Wagens auf der Straße sollen genügen, die Pflanze in der besagten Weise zu affizieren. Die Physiologen wollen deshalb keine Traurigkeit verspüren, etwa bei dem Gedanken, während eines mehrtägigen Transpirationsversuches ununterbrochen in größter Ruhe bei der Wage sitzen zu müssen. Denn Wiesner, Leitgeb und andere Forscher haben gezeigt, daß die obige Lehre von Baranetzky unrichtig ist. Daß man Erschütterungen der Versuchspflanzen (Apparate) möglichst vermeiden wird, ist selbstverständlich.

Nach der zweiten Methode wird ein abgetrennter oder ein mit der eingewurzelten Pflanze im organischen Verbands stehender Pflanzenteil oder eine vollständige Pflanze in ein Glasgefäß eingeschlossen und die Transpirationsgröße durch die Menge des emittierten und kondensierten Wasserdunstes gemessen. Es ist klar, daß diese Methode nur grobe Resultate liefern kann, da sich das Versuchsobjekt in einem nahezu dunstgesättigten Raum befindet. Um halbwegs größere Mengen von liquidem Wasser zu erhalten, muß die Transpiration ausgiebig und der eingeschlossene Luftraum großen Temperaturschwankungen ausgesetzt sein. Bei längerem Lichtabschluß wirkt auch die Anhäufung von Kohlendioxyd störend.

Der erste, welcher sich dieser Methode bediente, war Hales (vgl. dessen 17. Experiment); ihm handelte es sich jedoch in diesem Falle nicht um die Gewinnung bestimmter Transpirationsgrößen, sondern darum, eine größere Menge von der Transpirationsflüssigkeit zu sammeln, um deren Eigenschaften zu prüfen. Zu vergleichenden Transpirationsversuchen wandte das Kondensationsverfahren zuerst Guettard an.

Da seine im Jahre 1748—49 veröffentlichten Experimentaluntersuchungen über die „transpiration insensible“ auch historisches Interesse haben, gebe ich in Fig. 3 eine verkleinerte, sonst aber getreue

Kopie der Originalabbildung des Guettard'schen Apparates. A ist ein dreihalsiger Glasballon von etwa 32 cm Durchmesser, in dem ein Zweig von *Vitex Agnus castus* C („agnus castus ordinaire“) eingeschlossen ist. Das transpirierte und im Ballon kondensierte Wasser

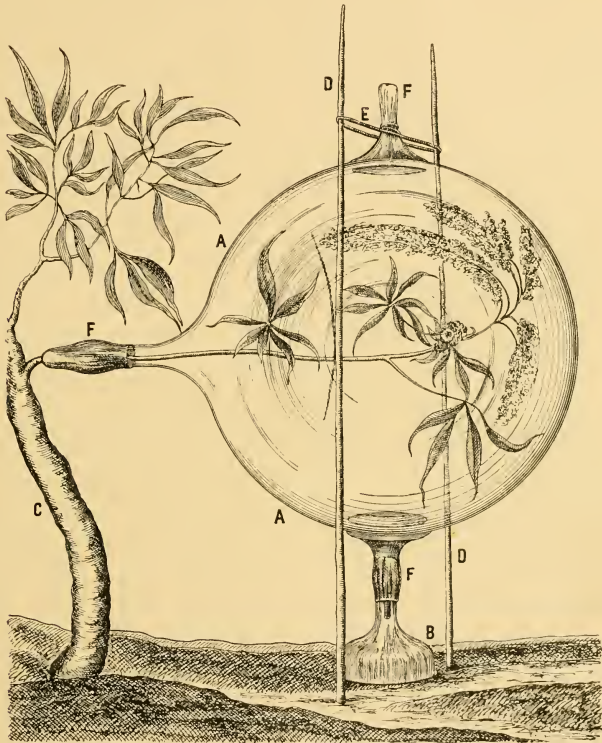


Fig. 3.

Transpirationsapparat von Guettard.

fließt in die Glasfläche B, die bis etwa zur Hälfte im Boden eingegraben steht; das obere Ballonende ist mittels Bindfadens E an zwei im Boden eingesteckten Holzstäben D befestigt. Die drei Ballonhalse F sind, um das Eindringen von Regenwasser zu verhindern, mit Per-

gament oder Schweinsblase in mehreren Lagen umwickelt und überdies mit einem dicken Firnis überstrichen.

Benützt man Topfpflanzen, von denen ein Sproß zum Zwecke der Ermittlung seiner Verdunstungsgröße in einem Ballon verschlossen ist, so hat man auch dafür zu sorgen, daß die Topferde genügend feucht erhalten wird. Denn bei geringem Wassergehalt des Bodens entziehen die in freier Luft befindlichen, relativ stark transpirierenden Sprosse dem Laube des in dem fast wasserduftgesättigten Raume eingeschlossenen Zweige Wasser, wodurch sich dessen direkter Evaporationswert vermindert.

Unbrauchbar ist die Kondensationsmethode bei Verwendung kleiner Pflanzenteile und bei kurzer Versuchsdauer. So fand Dehérain (79), nachdem ihm schlecht ausgeführte Vorversuche die falsche Ansicht beigebracht hatten, daß die Evaporation der Blätter sich in einem gesättigten Raum ebenso fortsetzt wie in freier Luft, die einstündige Wasserabgabe eines Weizenblattes in der Sonne 168 mg, im Finsternen nur 1 mg. Dabei wurde die Innentemperatur der Glasröhre durch Umhüllung mit einem zweiten Glasrohr, durch das beständig Wasser von 15° C geleitet wurde, nahezu konstant erhalten. Hätte Dehérain die Weizenblätter frei exponiert, hätte er ein ganz anderes Transpirationsverhältnis erhalten.

Im Gegensatze zur zweiten hat die dritte Methode, bei welcher die evaporirte Wassermenge aus der Gewichtszunahme hygroskopischer Substanzen in Erfahrung gebracht wird, den Nachteil, daß sich die Pflanze in einer zu trockenen Luft befindet. Indes ist diese Versuchsmethode, die man kurz als Chlorkalziummethode bezeichnen könnte, da dieser Körper zumeist verwendet wurde, zur Lösung gewisser Fragen vorteilhaft verwendbar. Garreau und Unger (64) benützten sie zur Ermittlung der relativen Transpirationsgröße der beiden Blattseiten, Aloi (263) bei seinen Versuchen über den Einfluß des Lichtes, der Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit. Mit konzentrierter Schwefelsäure zu manipulieren ist unbequem; Ätzkali oder Ätzkalk ist wegen der Kohlensäureabsorption nicht empfehlenswert.

Bei der vierten Methode wird aus der Farbenänderung hygroskopischer Substanzen auf die Wasseraufnahme der letzteren und damit indirekt auf die Wasserabgabe der Pflanze geschlossen. Merget (157, 170) verwendete Papiere, die mit einer Mischung von Eisenchlorür und Palladiumchlorür imprägniert waren („une liqueur composée de chlorure de palladium, d'acide tartarique et de perchlorure de fer“). Dieselben zeigen im völlig trockenen Zu-



stande eine gelblichweiße Farbe; in dem Maße, als sie aber Feuchtigkeit aufnehmen, werden sie dunkler und zuletzt schwarz. Mergel benützte diese Farbenreaktion u. a. zur Ermittlung der relativen Transpirationsgröße der beiden Blattseiten, zum Vergleiche der Stärke der stomatären und epidermoidalen Transpiration. Leider hat Mergel weder das Konzentrations- noch das Mischungsverhältnis der genannten Chlorüre angegeben. Auf eine diesbezügliche, schriftliche Anfrage meinerseits an den Autor erhielt ich keine Antwort. Während das Verfahren von Mergel bisher keinen Eingang in die Pflanzenphysiologie gefunden hat, wurde das von Stahl (293) empfohlene Kobaltchlorür zur Entscheidung transpiratorischer Fragen schon mehrfach vorteilhaft verwendet. Stücke (schwedischen) Filterpapiers werden mit einer 3—5 prozentigen, wässrigen Lösung von Kobaltchlorür imbibiert, an der Luft getrocknet und im Exsikator aufbewahrt, in welchem sie eine intensiv blaue Farbe annehmen. Wird ein entsprechender Streifen dieses Kobaltpapiers auf ein Pflanzenblatt gelegt, rasch mit einem dünnen Glas- oder Glimmerplättchen bedeckt, das man durch kleine Haftklammern festhalten kann, so läßt sich aus der Geschwindigkeit der Verfärbung des Papiers (in lichtrosa) ein Schluß auf die Größe insbesondere der Wasserabgabe ziehen. Bei hypostomatischen Blättern verfärbt sich unter Umständen das der Unterseite anliegende Papier schon nach wenigen Sekunden; Blätter mit nicht verschließbaren Spaltöffnungen röten bis zum Eintrocknen das (wiederholt zu erneuernde) blaue Kobaltpapier. Die „Kobaltprobe“ leistet bei einiger Übung — das Kobaltpapier ist nämlich für Feuchtigkeit sehr empfindlich — vielfach gute Dienste (Versuche von Schellenberg, Rosenberg, Ferruzza).

Woods (313) gibt an, daß bereits Mergel (382) des Kobaltchlorür („Cobaltous chloride“) benützte, dann aber deshalb wieder aufgegeben hat, weil sich die Farbe rasch ändert und nicht fixiert werden kann.

Mit Hilfe der letzten Methode wird nicht die Menge des transpirierten, sondern jene des (von den Wurzeln oder durch die Schnittfläche) aufgenommenen Wassers gemessen. Dauert die Versuchszeit länger, d. h. erfolgen die Ablesungen jedesmal erst nach wenigstens 24 Stunden, befindet sich die in allen Teilen gesunde Pflanze unter günstigen Vegetationsverhältnissen und etwa mittleren Transpirationsbedingungen, handelt es sich ferner um den Erhalt von nur approximativen Zahlen, so läßt sich eine gewisse Proportionalität oder Parallelität zwischen Wasseraufnahme und Wasserabgabe annehmen. Ist der Pflanze die Möglichkeit geboten, zu assimilieren, so muß der Gesamtbetrag der Wasserabgabe kleiner sein, als der der

Wasseraufnahme, da ein Teil des aufgenommenen Wassers zur Bildung organischer und organisierter Substanz in der Pflanze verbraucht wird. Beispielsweise betrug nach Vesque (214) bei Bohnenpflanzen, die in 3,5 prom. Nährstofflösung gezogen wurden, nach 56 Tagen die Wasseraufnahme 92,65 g, die Wasserabgabe 82,105 g.

Ändert man aber während des Versuches einen die Transpiration beeinflussenden Faktor (Licht, Feuchtigkeit etc.) und sind die einzelnen Beobachtungsphasen jedesmal kurz, etwa nur ein Bruchteil einer Stunde, so ist es unstatthaft, die direkt beobachtete Menge des absorbierten Wassers als Transpirationsgröße zu betrachten; man muß vielmehr wissen, und die Versuche von Unger, Barthélemy, Nobbe, Vesque, Kröber, Ricôme u. a. haben es experimentell bestätigt, daß zwischen der quantitativen Wasserabsorption einerseits und Emission andererseits keine konstante Parallelität oder Proportionalität besteht, indem jede der beiden Funktionen durch äußere und durch innere Faktoren in anderer Weise beeinflußt wird. In gewissen Fällen können die Unterschiede bedeutend sein. Bringt man, um z. B. den Einfluß höherer Temperatur oder Lichtintensität zu prüfen, eine zartblättrige, vielleicht ombrophile Pflanze aus einem kühlen Raum in einen bedeutend wärmeren, oder aus diffusem Licht in direkte Sonnenstrahlen, so werden wenigstens anfangs die transpirierenden Teile viel mehr Wasser verlieren, als der Wurzelkörper oder gar die Zweigschnittfläche aufzunehmen imstande ist, was sich oft schon äußerlich zeigt. Umgekehrt wird bei einer Topfpflanze nach reichlicher Bewässerung des relativ trocken gewordenen Bodens anfangs die Suktion die Transpiration übertreffen; wenn im Beginne des Welkens befindliche Blätter turgeszent werden sollen, müssen sie gleichzeitig mehr Wasser einnehmen als ausgeben.

Aus der neuen Literatur führe ich nur Kröber an. Derselbe ermittelte für beblätterte Zweige von *Asclepias incarnata* einerseits die durch die Schnittfläche aufgenommene, andererseits die durch die transpirierenden Teile abgegebene Wassermenge innerhalb 2,5 Tagen. Die Wägungen fanden sechsmal in je 24 Stunden statt. Aus der von Kröber mitgeteilten Tabelle lassen sich folgende Zahlenwerte berechnen:

	Absorption	Transpiration	ccm
9h 15 a. m. bis 6h 25 p. m.	11.30	12.80	+ 1.5
6h 25 p. m. „ 9h 50 a. m.	8.05	6.48	— 1.57
9h 50 a. m. „ 7h 05 p. m.	11.30	11.80	+ 0.5
7h 05 p. m. „ 7h 25 a. m.	7.67	5.21	— 2.46

Das Verhältnis der Wassereinsaugung bei Tag und bei Nacht war hier im Mittel gleich 100:70, jenes der Transpiration gleich 100:47. Würde man somit für das Verhältnis der Tages- und Nachttranspiration jenes der Wasseraufnahme substituieren, so würde man einen von der Wahrheit wesentlich abweichenden Transpirationsquotienten erhalten, was übrigens auch schon aus den Beobachtungen sich ergibt, die Dutrochet (32) mehrere Dezennien vor Kröber gewonnen hatte. Lumelle fand für eine Lupinenpflanze die in 5 Tagen von den Wurzeln aufgenommene Wassermenge im Lichte 12 g, im Dunkeln 13 g; die gleichzeitig von den transpirierenden Teilen abgegebene Wassermenge im Lichte 9,3 g, im Dunkeln 8,3 g; es war daher im Dunkeln die Absorption größer, die Transpiration gleichzeitig kleiner als im Lichte.

Man sollte glauben, es sei überflüssig, darauf aufmerksam zu machen, daß Aufnahme und Abgabe von Wasser seitens der Pflanze zwei Prozesse sind, die bis zu einem gewissen Grade unabhängig voneinander gehen. Dennoch findet man, daß bei nicht wenigen „Transpirationsversuchen“ statt der tatsächlichen Verdunstungsgröße die Menge des durch Wurzeln oder Schnittflächen aufgenommenen Wassers gemessen wurde. Ich nenne nur zwei im Buchhandel erschienene Werke: „Die Transpiration der Pflanzen“ von Friedrich Kohl und „Die Transpiration der Pflanzen“ von Oskar Ebert.

Kohl benutzte den Fig. 4 abgebildeten, von ihm zusammengestellten „Transpirationsapparat“, der in der Literatur mehrfach erwähnt wird und den der Autor nachstehend beschreibt: In das Rohr r, welches mit Wasser gefüllt ist, bringt man von oben mittels eines doppelt durchbohrten, teilweise gespaltenen Kautschukkorkes den bewurzelten Teil w der Versuchspflanze p und ein Thermometer t, welches die Temperatur des Wassers anzeigt; von unten her münden zwei Glasröhren in das Rohr r, von welchen die eine durch das Verbindungsstück k mit dem langen Kapillarrohr c, die zweite mit dem Kautschukschlauch k' verbunden ist. Letzterer ist durch den Glasstab gl verschlossen, durch dessen Verschiebung man den Stand der Wassersäule in c regulieren kann. Die Platte pl auf dem Dreifuß dr ist mit dem Rohr r durch Kitt verbunden und trägt die Glocke g, in welcher bei a trockene Luft, die bei b durch das Rohr u die Glocke wieder verläßt, eintritt. Das Trocknen der Luft geschieht in den Schwefelsäuretürmen s; s' ist ein Schwefelsäurefläschchen. Ein Aspirator an u saugt durch die Glocke einen kontinuierlichen Luftstrom, dessen Temperatur durch ein von oben eingesenktes zweites Thermometer t' gemessen wird. Durch Überstülpen des Papp-

zylinders h kann die Pflanze unter der Glocke momentan verdunkelt werden. Das Kapillarrohr c ist einem langen, fein geteiltem Maßstab m angelegt, dessen Einteilung behufs bequemer Ablesung zur Tischebene geneigt steht. Der Draht d trägt an seinem unteren Ende die mit Sand gefüllte Eprovette e, welche erhitzt in die Glocke g eingeführt wird, um rasch die Temperatur unter letzterer um mehrere Grade steigern zu können. Es wird dann jedesmal die Zeit notiert, die zur Verkürzung der Wassersäule um eine bestimmte Anzahl von Teilstrichen der Skalenlänge nötig ist.

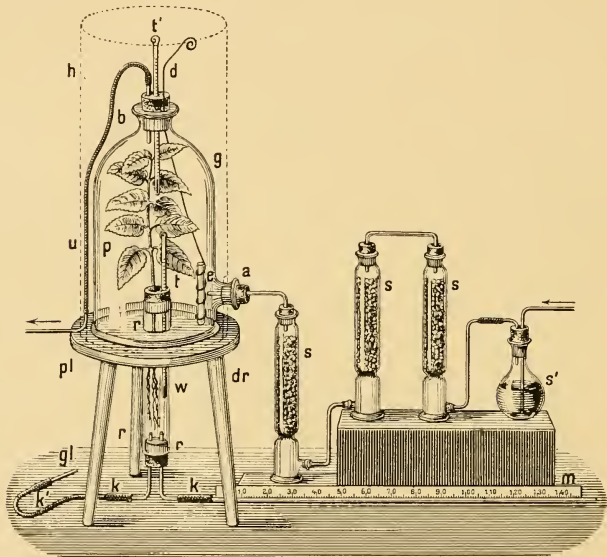


Fig. 4.

Transpirationsapparat von Kohl.

Eberdt bediente sich bei seinen Untersuchungen vielfach dieses, zwar empfindlichen, dabei aber etwas komplizierten Apparates von Kohl. Kam es aber nicht darauf an, die Temperatur des Bodens und der Luft, sowie den Feuchtigkeitsgehalt der letzteren konstant zu erhalten, benützte Eberdt einen einfacheren Apparat: Es wurde die Pflanze in ein mit Wasser gefülltes Gefäß, in dem ein Thermo-

meter frei schwimmend sich befand, luftdicht mit Hilfe eines durchbohrten und gespaltenen Kautschukpfropfens eingesetzt. Das untere Ende des Gefäßes hatte eine Öffnung, in welche das feinkalibrierte Meßrohr ebenfalls luftdicht eingesetzt war. Dieses Gefäß mitsamt der Pflanze konnte Eberdt auf eine Wage setzen, die noch Centigramme abwiegen ließ „und so mit Leichtigkeit beobachten, wieviel die Pflanze in einer gewissen Zeit durch Transpiration verlor und wieviel sie in derselben Zeit als Ersatz dafür von dem Bodenwasser aufnahm.“

Daß Wasserabgabe durch das Laub und Wassereinnahme durch die Wurzeln zwei verschiedene Dinge sind, ergaben die „Vorversuche“ von Eberdt, von denen ich gleich den ersten reproduziere; er betrifft *Helianthus annuus*.

Beobachtungszeiten	Aufgenommenes Wasser in ccm	Abgegebenes Wasser in g.
7 <sup>h</sup> 15 p. m. — 8 <sup>h</sup> 45 a. m.	16,67	15,55
8 <sup>h</sup> 45 a. m. — 11 <sup>h</sup> 45 a. m.	4,95	5,53
11 <sup>h</sup> 45 a. m. — 3 <sup>h</sup> 00 p. m.	5,50	7,40
3 <sup>h</sup> 00 p. m. — 7 <sup>h</sup> 15 p. m.	6,45	5,50
7 <sup>h</sup> 15 p. m. — 7 <sup>h</sup> 15 p. m.	33,57	33,98

„Wie man sieht, ist das in einem Zeitraum von 24 Stunden durch die Pflanze aufgenommene Quantum Wasser fast gleich dem durch die Pflanze in gleichem Zeitraum ausgehauchten. Betrachtet man aber die Zahlen der einzelnen Versuchszeiten, so findet man während der einzelnen Tageszeiten eine große Verschiedenheit zwischen Aufnahme und Abgabe.“ Wenn somit innerhalb eines Zeitraumes von wenigen Stunden sich auffallende Differenzen zwischen Wasseraufnahme und Wasserabgabe ergeben, so können diese Unterschiede wenn auch nicht absolut so doch relativ viel größer sein, wenn die Ablesungen in Zeiträumen erfolgen, die wenige Minuten oder gar Bruchteile solcher umfassen.

Der einfachste Apparat zur gleichzeitigen Bestimmung der Wasseraufnahme und Wasserabgabe ist ein graduiertes, mit Wasser oder mit Nährstofflösung gefülltes, zylindrisches Gefäß, an dessen (zweckmäßig verengten) Mündung die Versuchspflanze luftdicht befestigt ist. Die Wasserabsorption wird volumetrisch, die Wasseremission durch Wägung des Gesamtapparates bestimmt. Nicht zu vergessen ist dabei, mit Rücksicht auf den infolge Wasseraufnahme sich ändernden Wasserstand, daß das von den Wurzeln verdrängte Wasservolumen in verschiedenen Niveauhöhen ein ungleiches ist. Empfehlenswert ist jener Apparat, den Pfeffer in seiner Pflanzenphysiologie (2. Aufl. I. S. 214)

beschreibt und abbildet. Derselbe (Fig. 5) besteht aus einem zylindrischen Gefäß *g* mit einem Tubulus nahe an der Basis, in welchen ein graduiertes Glasrohr *R*, das mit dem Zylinder kommuniziert, luftdicht eingesetzt ist. Die Pflanze, resp. der Pflanzenteil wird in der aus der Figur ersichtlichen Weise eingepaßt. Die transpirierte Wassermenge wird durch Abwägung des Apparates (samt Pflanze), das gleichzeitig aufgenommene Wasserquantum wird durch Ablesung an der Skala des Glasrohres in Erfahrung gebracht. Für feinere Messungen ist der Fig. 6 abgebildete Apparat (vgl. Pfeffer l. c. S. 223) geeignet, bei dem das enge Rohr *a* eine Ablesung in kurzen Intervallen, und auch solche von Aufnahmen sehr geringer Wassermengen gestattet. Durch die horizontale Lage des Rohres wird eine Veränderung des Wasserdruckes vermieden, und sobald es nötig wird, eine Wiederfüllung schnell erreicht, indem man durch Öffnen des Hahnes oder Quetschers *b* etwas Wasser von einem höher stehenden Gefäß zufließen läßt.

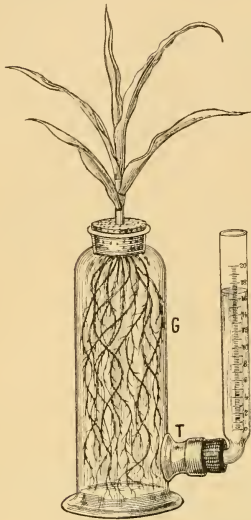


Fig. 5.

Apparat nach Pfeffer zur gleichzeitigen Bestimmung der Wasseraufnahme und Wasserabgabe einer Pflanze.

Das „Potometer“ von Mac Dougal (323) besteht im wesentlichen aus einem etwa meterlangen, englumigen Glasrohr, dessen Teilstrichabstände 100 mgr Wasser entsprechen. Das eine Rohrende (*a*) ist rechtwinklig nach abwärts gebogen und taucht in ein kleines Gefäß mit Wasser; das andere Ende *b* ist Uförmig gebogen und dient zur Befestigung des Versuchsprosses. Ist der Apparat mit Wasser gefüllt, so läßt man durch Heben des Schenkels *a* eine Luftblase eintreten und notiert die Zeitintervalle, die zum Passieren der „indicator bubble“ von einem Teilstrich zum anderen verstreichen. Das „Potometer“ ist also kein Transpirationsapparat, sondern zeigt die Menge des aufgenommenen Wassers an; es ist in erster Linie für Vorlesungszwecke gedacht, wobei es sich empfiehlt, zur besseren Sichtbarmachung gefärbtes Wasser zu verwenden.

Eines sehr einfachen „Transpirationsapparates“ bediente sich Guppenberger. Derselbe bestand aus einer zweihalsigen Wulff'schen

Flasche; in einem Halse wurde die Versuchspflanze luftdicht befestigt, in dem anderen eine zweimal gebogene, englumige, in mm graduierte Glasröhre. Der ganze Apparat war mit Wasser gefüllt und aus der Änderung des Wasserstandes in dem Glasrohr wurde die „Transpiration“ bestimmt.

Ich kann nicht umhin, hier noch einen Fall aus der Transpirationsliteratur anzuführen. Behufs Ermittlung der Empfindlichkeit verschiedener Obstbaumsorten beziehungsweise zur Eruierung ihres Wasser-

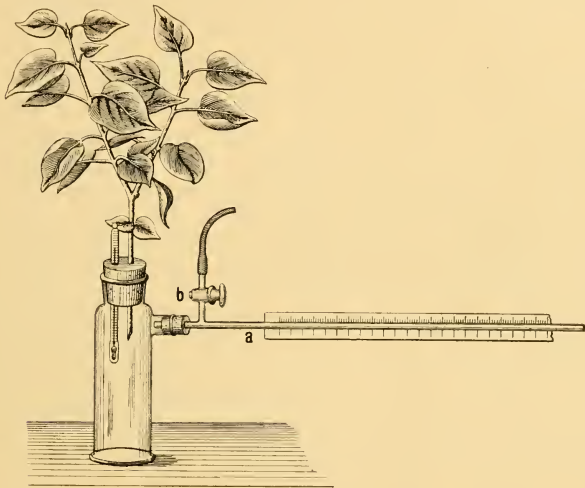


Fig. 6.

Apparat von Pfeffer für feinere Versuche über Wassereinsaugung und Transpiration.

bedürfnisses befestigte Müller-Thurgau (276) abgeschnittene Zweige von Birn- und Apfelsorten an dem kürzeren Schenkel einer Uförmig gebogenen, mit Wasser gefüllten Glasröhre. „Um möglichst exakte Resultate zu erzielen“, stand das obere Ende des langen Schenkels mit einem mit Wasser gefüllten Erlenmayer'schen Glaskolben in Verbindung, so daß es möglich wurde, den Wasserstand im langen Schenkel während der ganzen Versuchsdauer auf gleicher Höhe zu erhalten. Wenn nun Müller meinte, „die Gewichtsabnahme der Wasserflasche (des Glaskolbens) gibt genau die Menge des in der betreffenden Zeit durch die Blätter verdunsteten Wassers an,“

so befand er sich in einem argen Irrtum; denn durch seine Versuchsmethode konnte er nur die Menge des durch die Schnittfläche der Zweige aufgenommenen (zum Teil eingepreßten) Wassers genau erhalten, keineswegs aber ebenso genau die Menge des von den transpirierenden Teilen abgegebenen Wassers. So viel steht fest und muß mit allem Nachdruck betont werden, daß es in solchen Fällen, in denen es sich um die Gewinnung exakter Resultate handelt, nicht erlaubt ist, die von der Pflanze aufgenommene, direkt ermittelte Wassermenge als Maß der Transpirationsgröße zu betrachten, wie dies bei den diesbezüglichen Versuchen von Miquel, Eder, Kohl, Eberdt, Curtel, Müller geschehen ist. In neuester Zeit hat sich auch Ricôme gegen die „Absorptionsmethode“ entschieden ausgesprochen: „Remarquons en outre, qu la méthode de l'absorption doit être rejetée pour la mesure de la transpiration, les deux phénomènes étant dans une assez large mesure indépendants l'un de l'autre.“

Es ist fast unglaublich, aus welchen Gründen z. B. Eder, der eine 136 Druckseiten füllende Abhandlung „über die Ausscheidung von Wasserdampf bei den Pflanzen“ veröffentlicht hat, die Bestimmung der Transpiration durch Wägung als ungenau verwirft: „die Schwierigkeit — sagt dieser Autor — so schwere Gegenstände, wie große Zweige im Wasser oder gar ganze Pflanzen mit entsprechender Genauigkeit wiegen zu können (?) ferner der Umstand, daß der Gang der Transpiration während der Wägung selbst zu Ungenauigkeiten führt, namentlich die von Baranetzky festgestellte (?) Tatsache, daß schon die geringsten Erschütterungen einen rapiden (?) Gewichtsverlust bewirken, veranlaßt mich, die Bestimmung des Transpirationsverlustes durch Wägung als ungenau (!) zu verwerfen.“ Eder ermittelte infolgedessen „in seinen schönen Verdunstungsversuchen“ wie sie v. Bretfeld (das Versuchswesen auf dem Gebiete der Pflanzenphysiologie, Berlin 1884) in seiner kritiklosen Zusammenstellung der Transpirationsliteratur nennt, die Wassereinnahme und nicht die Wasserausgabe von Pflanzen und Pflanzenteilen. Damit nun bei Eder's Methode „den Transpirationsverlust durch die Menge des aufgenommenen Wasser zu bestimmen“ die Zweige auch möglichst lange aushalten möchten, wurde in deren Schnittfläche vor Beginn des Versuches durch einen Druck einer 20 cm hohen Quecksilbersäule Wasser eingepreßt. Wirklich schöne Transpirationsversuche!

Vesque (160) hat folgenden Apparat (Fig. 7) zur Bestimmung der Transpirationsgröße erdacht: Ein Kapillarrohr aus Krystallglas, a, ist an beiden Enden rechtwinklig gebogen; das eine Ende mündet



von unten in den Zylinder b, der mit Wasser gefüllt und oben durch einen Kork verschlossen wird, in dessen zentraler Bohrung die Versuchspflanze am Wurzelhalse eingepaßt ist; das andere Ende der Röhre a ist mit einem kleinen Apparat verbunden. Der Tubus e hat am unteren Ende einen Verschluß mit Doppelbohrung: in die eine mündet das Rohr a; durch die zweite wird eine Kommunikation von e mit dem zylindrisch verbreiterten Gefäß d hergestellt; beide Gefäße sind mit Wasser gefüllt. Etwa in der Mitte von d ist eine nach aufwärts gerichtete Nadel c befestigt, deren Spitze am Beginn des Versuches den Wassermeniskus berührt. Das Kapillarrohr geht

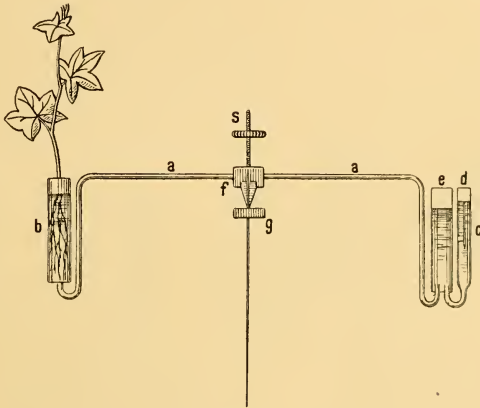


Fig. 7.

Transpirationsapparat von I. Vesque.

durch die Fassung f mit der ein auf dem Plateau g ruhendes Prisma befestigt ist. Die Schraube s gestattet, den Schwerpunkt des ganzen Systems zu heben oder zu senken, das wie eine Waage funktioniert. Nehmen wir an, daß am Beginn des Versuches Gleichgewicht herrscht und daß die Nadelspitze auf Null steht, so können wir das Gewicht eines jeden Wagebalkens mit  $P$  bezeichnen. Sei nun  $p$  das von den Wurzeln aufgenommene,  $p'$  das von der Pflanze transpirierte Wasser, so ist das Gewicht der Wagebalkenhälfte auf der Seite der Pflanze:  $P + p - p'$ , und das der anderen Seite:  $P - p$ , folglich das Gewicht, welches auf diese Seite zugelegt werden muß, um das Gleichgewicht herzustellen:  $(P + p - p') - (P - p) = 2p - p' = x$ . Nehmen wir an, die aufgenommene Wassermenge sei größer als die evaporierte,

also  $p > p'$ . Nach dem Beginn des Experimentes beginnt auch das Wasserniveau in C zu sinken und die Nadel ragt aus dem Wasser heraus. Man gießt nun aus einem tarierten Fläschchen in das Gefäß e soviel Wasser nach, bis das Nullniveau in d wiederhergestellt ist; diese Menge entspricht dem absorbierten Wasser p. Das Gleichgewicht ist damit noch nicht hergestellt; damit dies der Fall sei, muß man noch ein kleines Wasserquantum (entsprechend  $p - p'$ ) zugeben, das zu dem ersten hinzugefügt, die Menge  $x = p + (p - p')$  gibt. Kennt man damit p und x, so läßt sich die transpirierte Wassermenge aus der Gleichung  $p' = 2p - x$  unmittelbar bestimmen.

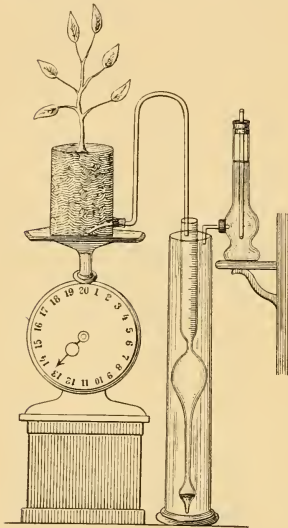


Fig. 8.

Transpirationsapparat von  
Krutitzky.

Fig. 8 stellt einen von Krutitzky (175) ersonnenen Apparat vor, mittels dessen man gleichzeitig die Wasseraufnahme und Wasserabgabe einer Pflanze quantitativ bestimmen kann. Derselbe besteht aus einer Federwaage, auf deren Schale ein Glastopf gestellt wird, der die in Erde eingewurzelte Versuchspflanze enthält. Vom Tubulus des Topfes zweigt ein doppelt gebogenes Syphonrohr ab, das in einen areometerähnlichen Schwimmer taucht, der in einem neben der Waage stehenden, mit Wasser gefüllten Glaszylinder stabil schwimmt. Seitlich von diesem Apparat steht auf einem Stativ ein Mariotte'sches Gefäß, welche dazu dient, das Wasserniveau im Zylinder konstant zu erhalten. Die freie Oberfläche im Schwimmer kann mit einer Ölschichte gedeckt sein. Saugt die Pflanze durch den Syphon

Wasser aus dem Schwimmer, so hebt sich dieser und zeigt, da er in ccm graduiert ist, die Menge des aufgenommenen Wassers. Andererseits gibt der Zeiger auf dem Zifferblatte der Waage das jeweilige Mehr- oder Mindergewicht des Topfes samt Pflanze in Gramm an. Der Apparat kann auch selbst registrierend eingerichtet werden. Zu diesem Zwecke befindet sich auf dem Schwimmer nahe seiner Mündung ein Korkring, auf dem eine Glasnadel mit einem Gegengewichte

befestigt ist; diese berührt wieder die berußte Oberfläche einer Trommel, welche, um eine vertikale Achse drehbar, in 24 Stunden eine Umdrehung macht.

Eine eigene Registrierwage für Transpirationszwecke mit einer, wie es scheint, einigermaßen komplizierten Konstruktion hat Anderson (354) erfunden. Wir gehen auf eine Beschreibung dieser Wage samt den „electro magnetic balancing mechanism and the necessary fittings“ nicht ein; Interessenten finden die Detailangaben (samt Abbildung) in der Abhandlung des Autors.

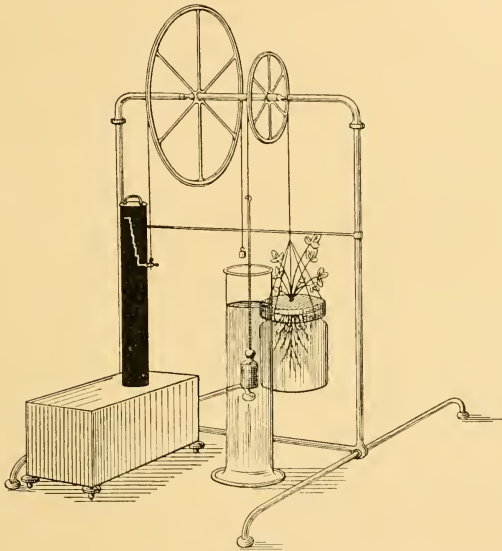


Fig. 9.

Selbstregistrierender Transpirationsapparat von Copeland.

Auch Woods (306) hat eine automatische, elektromagnetische Transpirationswage konstruiert, beschrieben und abgebildet.

Einen besonderen selbstregistrierenden Apparat (Fig. 9) hat Copeland (für die Indiana Universität) konstruieren lassen. Derselbe besteht aus einem Eisengestell von 25 Zoll (englisch) Höhe und 15 Zoll Breite; die Arme enden oben in je ein stabförmiges Stück

aus Spiegelglas. Zwei Aluminiumräder von 6 und 12 Zoll im Durchmesser, genau geschnitten und zentriert sind um eine gemeinsame Achse drehbar, die mittels zylindrischer Zapfen an den Eisenträgern ruht und eine horizontale Lage haben muß. Am Umfange des kleinen Rades läuft eine mit Wachs geglättete Seidenschnur, die einerseits die Versuchspflanze, andererseits ein Areometer trägt; dieses besteht aus einem zum Teil mit Quecksilber gefüllten, verkorkten Fläschchen. Wird das Gefäß mit der Pflanze infolge Wasserabgabe der letzteren leichter, so sinkt das Areometer und das Wasser im Glaszylinder steigt. Wäre der Querschnitt des Zylinders ein qcm, und stiege das Wasser in demselben um 1 cm, so wäre der Wasserverlust der Pflanze ein ccm oder ein Gramm. Um das große Rad läuft ein gespannter Faden mit einem Zeiger, der nach Art eines Auxanometers auf der beruhten Mantelfläche eines um eine vertikale Achse rotierenden Zylinders schreibt.

Von Pfeffer (Pflanzenphysiologie, 2. Aufl. Bd. I, S. 224) wird ein Transpirationsapparat mit automatischer Registrierung von Marey (Méthode graphique 1878) erwähnt: Eine Beschreibung oder wenigstens das Prinzip desselben konnte ich weder im Originaltexte noch in einem Referate kennen lernen. Ein besonders konstruiertes Psychrometer, mit Hilfe dessen nach der Methode der Taupunktbestimmung ein Schluß auf die Transpirationsgröße gezogen werden kann, hat Leavitt (335) beschrieben. Als Beispiel der Empfindlichkeit des Instrumentes führt der Autor eine Beobachtungsreihe mit einer Bohnentopfpflanze an. Vier Minuten nach Verdunklung derselben zeigte sich die Verminderung der Wasserabgabe durch Änderung des Taupunktes. Die von Fr. Darwin konstruierten Hygroskope, aus deren Angaben sich eine Vorstellung über die relative Größe der stomatären Transpiration gewinnen läßt, sind im III. Kapitel beschrieben und abgebildet (Fig. 11, 12).

Die Reduktion der unmittelbar gefundenen Transpirationswerte erfolgt entweder auf gleiche Oberfläche oder auf gleiches Gewicht der transpirierenden Teile. Die ganze Verdunstungsfläche besteht allerdings in Hinsicht auf die epidermale Transpiration aus der äußeren Oberfläche und rücksichtlich der stomatären Transpiration aus der freien inneren Oberfläche der Interzellularen. Da eine genauere Bestimmung der letzteren nicht möglich ist, so nimmt man die Umrechnung auf die äußere Oberfläche vor, deren Größenberechnung bei Blättern mit ebener Epidermis leicht ausgeführt werden kann: a) der Blattumriß wird nach Auflegen des Blattes auf ein sog. Millimeterpapier oder auf eine matte Glastafel, auf der ein Quadrat-

maß eingeritzt ist, abgezeichnet und dann das Flächenmaß des Blattes ausgezählt. b) Die Blattspreiten werden nach Auflage auf ein möglichst homogenes Papier kopiert, eventuell auf einem photographischen Papier fixiert, der Papierblattnriß dann ausgeschnitten und gewogen. Bestimmt man als konstante Größe genau das Gewicht von einem Quadratdezimeter desselben Papiere, so läßt sich durch Proportion die Blattfläche ermitteln. Durch Verdopplung der Zahl erhält man die ganze Oberfläche (Oberseite + Unterseite). Ganz genau ist der gefundene Wert allerdings nicht, da die Laminarfläche nicht eine geometrische Ebene bildet.

Wollte man bei größeren Versuchsreihen die Zeichnung der Blattkonturen erst später einmal ausführen wollen, zu welchem Zwecke man die Blätter herbariummäßig konserviert, so sei daran erinnert, daß beim Austrocknen des Blattes die Lamina eine nicht unbedeutende Flächenkontraktion erfährt, deren Größe vom Alter, Wassergehalt, der Konsistenz etc. des Blattes abhängt. Nach Messungen von Fr. Haberlandt (Wissensch. prakt. Unters. auf d. Gebiete des Pflanzenbaues Bd. II 1877) verminderte sich die Blattoberfläche krautiger Pflanzen nach vollkommenem Eintrocknen zwischen Löschpapier (bei mäßigem Druck) um 20—42 Proz.; Wiesner (195) fand bei einem Laubblatte von Dahlia die Flächenkontraktion gegen 26 Proz., bei Korollenblättern von Dahlia, Pelargonium, Pisum eine solche von 50—54 Proz.! Meine in dieser Richtung gemachten Beobachtungen ergaben geringere Werte. Die bei 30 verschiedenen Pflanzen zum Teil mit lederartigen Blättern (*Laurus*, *Nerium*, *Rhododendron* etc.) gemessene Kontraktion bei herbarmäßiger Konservierung bewegten sich zwischen 5 und 20 Proz.; bei Korollenblättern fand ich den Flächeninhalt im trockenen Zustande um 8—25 Proz. kleiner als im frischen (lebenden) Zustande. Es soll daher für alle Fälle der Blattnriß unmittelbar nach Beendigung des Transpirationsversuches fixiert werden.

Bei Verwendung mehrerer Exemplare derselben Pflanzenart wird man wohl selbstredend „möglichst gleiche“ Pflanzen oder Pflanzenteile wählen. Um vergleichbare Resultate zu erhalten, wird man aber in den meisten Fällen direkte Messungen machen müssen. Was die Oberflächenbestimmung der Blätter betrifft, so wird es wohl nicht Viele geben, welche Sachs (57) beipflichten, der aussagt, er habe sich betreffs der Auswahl der Blätter mit gleicher Oberfläche überzeugt, daß, wenn die Pflanzen nicht allzuviel Blätter haben, die Gleichheit vermittels des Augenmaßes nicht nur schneller, sondern auch genauer (!) zu bestimmen ist, als durch direkte Messungen. Ich meine, daß derjenige, welcher die Blattoberfläche genau, nicht oberflächlich

kennen lernen will, sich an Unger (64) halten möchte, der bei Umrechnungen von Transpirationswerten auf die Flächenangaben der Pflanzen die größte Genauigkeit zu verwenden empfiehlt und beifügt, daß diese Bestimmungen, ohne bedeutende Fehler zu veranlassen, durch das bloße Augenmaß nicht gemacht werden können.

Soll die Oberfläche von Knollen, Rhizomen, Früchten ermittelt werden, so kann dies in der Weise geschehen, daß man das betreffende Objekt ganz mit Stanniolstreifen bedeckt, die mittels feiner Stecknadeln fixiert werden. Nach Abnahme des Stanniols wird aus seinem Gewichte unter Zugrundelegung des Gewichtes von einem Quadratdezimeter derselben Stanniolsorte die gesuchte Oberfläche leicht bestimmt.

Die Reduktion der absoluten Transpirationswerte auf gleiches Lebend- oder gleiches Trockensubstanzgewicht (1 g, 100 g) unterliegt keinen Schwierigkeiten. Wegen des sich fortwährend ändernden Wassergehaltes wird die Reduktion auf die Trockensubstanz event. auf das Lufttrockengewicht vorzuziehen sein. Das Lebendgewicht der Versuchspflanzen kann entweder am Beginn, zweckmäßiger am Ende des Versuches als Berechnungsbasis genommen werden, da im letzteren Falle eine Detailbestimmung der Blattflächen, Blattstiele, Internodien möglich ist. Bei kurzer Versuchszeit mit abgeschnittenen Zweigen, Blättern oder langsam wachsenden, bewurzelten Pflanzen wird wohl der Gewichtsunterschied vor und nach dem Versuche zumeist unbedeutend sein; sonst könnte das arithmetische Mittel der beiden Gewichte genommen werden. Die Berechnung der Transpiration auf gleiche Gewichtseinheit sollte nur dann vorgenommen werden, wenn die Versuchspflanzen derselben Art angehören oder wenigstens morphologisch und biologisch wenig differieren. Daß unter Umständen selbst bei derselben Spezies die Umrechnung auf die Flächeneinheit vorzuziehen ist, erhellt aus folgendem Beispiele. Es wäre das Verhältnis des Transpirationsvermögens eines Sonnen- und eines Schattenblattes desselben Baumes, unter gleiche Bedingungen gebracht, zu ermitteln; das Sonnenblatt sei bei gleicher Oberfläche doppelt so schwer als das Schattenblatt, ein Fall, der in der Natur realisiert ist. Wäre nun das Transpirationsverhältnis für dieselbe Oberfläche: Sonnenblatt zu Schattenblatt gleich  $a:b$ , so wäre das Transpirationsverhältnis für dasselbe Gewicht: Sonnenblatt zu Schattenblatt gleich  $a:2b$ , also ein wesentlich anderes.

Bei Pflanzen, die im Bau und in den Lebensbedingungen auffällig divergieren, soll die Reduktion der Verdunstungsgröße keinesfalls auf das Lebendgewicht der transpirierenden Teile vorgenommen werden,

wie folgende Berechnung zeigt. Ich wählte eine gesunde Topfpflanze von *Hydrangea hortensis* und eine solche von *Opuntia cylindrica*. Das (am Versuchsende bestimmte) Lebendgewicht der Hydrangeablätter betrug 12,310 g, das des Opuntia Stammes 97,665 g; die Oberfläche der Hydrangeablätter 496,0 qcm, die der *Opuntia* 260,8 qcm. Beide Pflanzen standen in wohl verschlossenen Töpfen während der 24 stündigen Versuchszeit nebeneinander an einem Fenster des Laboratoriums. Es ergab sich:

	Hydrangea	Opuntia
Absolute Transpirationsgröße . . . . .	32,40 g	0,51 g
Transp. pro 100 g Gewicht . . . . .	263,20 „	0,52 „
Transp. pro 100 ccm Oberfläche . . . . .	6,54 „	0,20 „

Die Transpiration der *Hydrangea* war somit bei Reduktion auf gleiche Fläche 32,7 mal, bei Reduktion auf gleiches Frischgewicht 506 mal größer als die der *Opuntia*. Welchen Einfluß bei physiologischen Versuchen die Individualität der Pflanzen auszuüben vermag, lehrte eine Erfahrung von Fr. Haberlandt (134). Bei neun gleich alten, bewurzelten, äußerlich vollkommen gleich aussehenden und unter gleichen Bedingungen stehenden Roggenpflanzen betrug die durchschnittliche Transpiration pro Tag und Quadratdezimeter Oberfläche: 4,69 g. Das Minimum zeigte unter jenen neun Individuen eine Pflanze mit nur 2,05 g, das Maximum eine mit 7,08 g.

In der Regel wurden von den Autoren nur die Blattspreiten in Rechnung genommen. Da aber die Pflanze auch durch die Blattstiele und durch die Internodien Wasser verliert, so sollte eigentlich dieser Faktor nicht vernachlässigt werden. Rechnet man die Blattstiele und Internodien als Zylindermantelflächen, so wird die erhaltene Oberfläche von der tatsächlichen nicht viel differieren. Um eine ungefähre Vorstellung zu bekommen, habe ich bei einer Reihe von Kräutern und Holzpflanzen das Verhältnis der Transpirationsgröße zwischen Lamina und Petiolus ermittelt. Hierbei ergab sich, daß der absolute Wert der Wasserabgabe des Blattstieles 1—20 Proz. von der Transpirationsgröße der Lamina, auf gleiche Oberfläche berechnet, aber 10—100 Proz. betragen kann. Hier nur ein Beispiel. Zwei große Blätter von *Aesculus Hippocastanum* wurden in Lamina und Petiolus geteilt. Nach Verschuß der Schnittflächen mit Vaseline wurden die Pflanzenteile gewogen und mittels Draht frei hängend, eine Stunde in diffussem Lichte transpirieren gelassen. Das Lebendgewicht der Blattflächen betrug 32,61 g, das der Blattstiele 6,66 g; die Ober-

fläche der ersteren 4304 qcm, die der letzteren nur 63 qcm. Nach entsprechender Umrechnung betrug

	Spreite Stiel
das Verhältnis der absoluten Transpirationsgröße . . . . .	67 : 1
das Transpirationsverhältnis pro 100 g Lebendgewicht . . . . .	135 : 1
„ „ „ 100 qcm Oberfläche . . . . .	1 : 1

### III. Beziehungen des Blattbaues.

Infolge ihrer Zahl und Flächenentwicklung sowie des Reichtums an Chlorophyll und an Spaltöffnungen, welche letztere zuerst von Hedwig im Jahre 1793 als die „Ausdünstungsöffnungen der Gewächse“ bezeichnet wurden, sind die Laubblätter die hauptsächlichsten Transpirationsorgane der Pflanze; mehr als an anderen Teilen überwiegt hier die stomatäre Wasserabgabe gegenüber der epidermoidalen. Auf die Größe dieser stomatären Verdunstung haben Zahl, Verteilung und Lage der Spaltöffnungen, Bewegungsfähigkeit der Schließzellen, der Bau des ganzen Spaltöffnungsapparates, die Größe der Mesophyll-Interzellularen besonders Einfluß.

Die Zahl der Spaltöffnungen wird für die stomatäre Transpirationsgröße insofern von Bedeutung sein, als selbstverständlich ceteris paribus durch eine größere Zahl von Spaltöffnungen eine größere Menge von Wasser austreten kann. Bei dorsiventral gebauten Blättern führt bekanntlich in der Regel die Oberseite keine oder weniger Stomata als die Unterseite. Mit diesem oft auffälligen Unterschied in der Spaltöffnungszahl sind noch andere Eigentümlichkeiten der Dorsiventralität verbunden, welche die relative Transpirationsgröße der beiden Blattseiten zu beeinflussen vermögen; insbesondere die Differenzierung des Mesophylls in ein dichter gefügtes Pallisadengewebe oberseits und in ein lockeres, an Interzellularen reiches Schwammparenchym unterseits. Daraus erklärt sich die wiederholt experimentell bestätigte Tatsache, daß (bei Landpflanzen) die Wasserabgabe durch die Blattunterseite im allgemeinen größer ist als durch die Oberseite. Von den Autoren, welche direkte Versuche über das Transpirationsverhältnis der beiden Blattseiten ausgeführt haben, sind insbesondere Garreau, Unger, Barthélemy und Merget zu nennen.



Garreau bediente sich eines Apparates, der wiederholt in seinen wesentlichen Teilen abgebildet wurde (vgl. z. B. Sachs, Experimentalphysiol. p. 227, Pfeffer, Pflanzenphysiologie 2. A. I. B. p. 226, Detmer, Pflanzenphysiol. Praktikum p. 180) und von dem Fig. 10 eine genaue Kopie des Originals gibt. A, A sind trichterförmige Glasbecher, deren jeder am Rand einen Ring B aus Leinwand be-

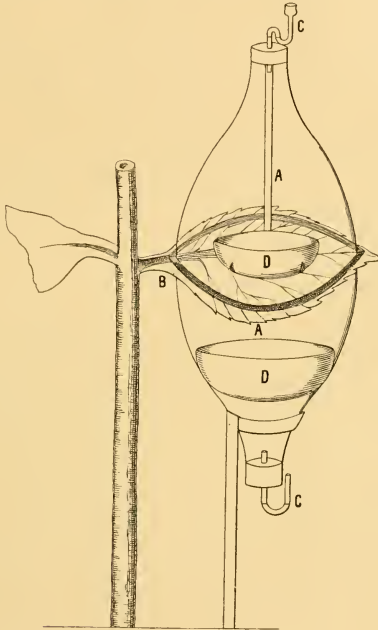


Fig. 10.

Apparat von Garreau zur Bestimmung der relativen Transpirationsgröße beider Blattseiten.

sitzt, die mit einer Mischung von Wachs und Burgunderpech (poix de Bourgogne) und einem feinen Fett bestrichen ist, um nach einem leichten Druck an der Blattfläche zu adhären. Jeder Becher enthält ein Schälchen D mit genau abgewogenem Chlorkalzium und trägt an seinem Ende ein gebogenes Röhrchen C, C, welches zur Absperrung der äußeren Luft einen Tropfen Öl enthält. Die angewendete Chlorkalziummenge ist so gewählt, daß sie nicht eine zu

trockene Luft in den Bechern bewirkt. Garreau fand die Transpiration der Unterseite meist doppelt so groß (z. B. *Syringa vulgaris*), selten eben so groß (z. B. *Althaea officinalis*) oder 3—4 mal so groß als die der Oberseite. In manchen Fällen war die Wasserabgabe der Blattoberseite auch dann nicht unbedeutend, wenn diese frei von Spaltöffnungen war, wie bei *Bergenia sibirica*. Im allgemeinen ergab sich, daß die spaltöffnungsreichere Blattseite eine größere Wasserabgabe leistet, daß jedoch zwischen dem Verhältnis der Spaltöffnungszahl und dem der Transpirationsgröße keine Proportionalität besteht, was nach dem früher Gesagten leicht erklärlich ist.

Beispielsweise ergab sich das Verhältnis der

	Spaltöffnungen		Transpiration	
	oberseits	unterseits	oberseits	unterseits
<i>Atropa Belladonna</i>	10	: 55	48	: 60
<i>Nicotiana rustica</i>	15	: 20	57	: 80
<i>Dahlia variabilis</i>	22	: 30	50	: 100
<i>Canna aethiopica</i>	0	: 25	5	: 35
<i>Tilia europaea</i>	0	: 60	20	: 49

Barthélemy (102) bestätigte, daß die Menge des von einer Blattseite evaporierten Wassers nicht von der Zahl der Spaltöffnungen allein abhängt. Nach Garreau'scher Methode fand er das Transpirationsverhältnis der Blattober- und Blattunterseite bei *Cissus quinquefolia* wie 1 : 3, bei *Tropaeolum maius* wie 1 : 2, bei *Atropa Belladonna* wie 4 : 5. Nach einer Beobachtung von Mac Nab gab ein Blatt von *Prunus Laurocerasus* durch die Unterseite zwölfmal so viel Wasser ab als durch die Oberseite. Daß zwischen Spaltöffnungszahl und Transpirationsgröße beider Blattseiten keine Proportionalität besteht, bestätigte in neuerer Zeit Rosenberg bezüglich der Halophyten, Ferruzza bezüglich der Succulenten.

Auf eine sehr einfache Weise zeigte Knigh, daß die Unterseite der Weinblätter bedeutend stärker transpiriert als die Oberseite. Wurde nämlich ein Blatt mit seiner Unterseite auf eine Glasplatte gelegt, so sammelten sich auf letzterer bald Wassertropfen in reichlicher Menge; wurde hingegen das Blatt mit der Oberseite aufgelegt, so zeigte sich nicht die geringste Feuchtigkeit.

Unger (64) bediente sich kleiner Glastrichter, die er mittels eines Kittes auf die beiden Seiten des Blattes befestigte. In jedem Trichter befand sich auf einem Uhrglas eine gewogene Menge von Chlorkalzium, dessen Gewichtszunahme die evaporierte Wassermenge angab; im wesentlichen also die Garreau'sche Methode. Die an elf Pflanzenarten gewonnenen Zahlen lehrten: a) die Unterseite transpirierte

reichlicher als die Oberseite; die größte Differenz zeigten hypostomatische Blätter. b) Der Exponent des Transpirationsverhältnisses war bei lederartigen Blättern größer als bei „membranösen“. c) Die Transpirationsgröße war der Spaltöffnungszahl nicht proportional.

Beispielsweise ergab sich:

	Zahl der stomata pro qmm		Verhältnis der Transpiration	
	Oberseite	: Unterseite	Oberseite	: Unterseite
<i>Fuchsia fulgens</i>	0	: 200	1	: 8
<i>Aucuba japonica</i>	0	: 145	1	: 40
<i>Nicotiana Tabacum</i>	100	: 207	1	: 4,3
<i>Helianthus annuus</i>	207	: 250	1	: 1,25

Auf Grund vieler Proben mit dem schon im II. Kapitel erwähnten Eisen-Palladium-Chlorürpapier fand M e r g e t (157) folgendes: Hypostomatische Blätter geben in einem sehr frühen Stadium durch beide Seiten fast gleich viel Wasser ab; sobald sich aber die Spaltöffnungen ausbilden und funktionieren, vergrößert sich die Evaporation der Unterseite in hohem Grade. — Blätter, die beiderseits Spaltöffnungen führen (feuilles bistomateés), verlieren mehr Wasser durch die untere als durch die obere Seite. — Bei Blättern monokotylar Pflanzen zeigte sich die stärkere Feuchtigkeitsreaktion bisweilen auf der Oberseite. — Bei epistomatischen Blättern reagierte nur die Oberseite.

Bei seinen Transpirationsversuchen machte U n g e r (64) die interessante Beobachtung, daß, wenn die Evaporation einer Blattseite z. B. durch Aufsetzen eines Glastrichters sehr herabgesetzt wird, während die andere Seite ungehindert transpirieren kann, fast alles Wasser durch diese freie Seite austritt, und C o m e s (149) zeigte, daß die Wassermenge, welche ein Blatt von *Arum* oder *Magnolia* durch beide Seiten gleichzeitig verdunstet, kleiner ist, als die Summe der Quoten, die jede Fläche für sich abgibt. Wäre z. B. die Wassermenge, die ein Blatt unter sonst gleichen Verhältnissen ungehindert abgibt,  $o + u$ , die Wassermenge, welche dasselbe Blatt bei gehinderter Evaporation der Unterseite nur durch die Oberseite verliert,  $o'$  und jenes Quantum, welches dasselbe bei sistierter Evaporation der Oberseite durch die Unterseite abgibt,  $u'$  so ist  $(o + u) < o' + u'$ . Dies ist zu beachten, wenn bei vergleichenden Transpirationsbestimmungen die Verdunstung der einen Blattseite durch Bestreichen mit Paraffin, Vaseline u. dgl. sistiert wird.

Niemals sollte hierbei eine die Pflanze schädigende Substanz z. B. ein Spirituslack verwendet werden, wie dies mehrfach geschehen ist. So bestrich, um die Verdunstung einer Blattseite auszuschließen,

Guettard, Duhamel und Bonnet diese Blattfläche mit einem weingeistigen Firniß, Dehérain mit einer Kollodiumlösung, (Mer (Bull. soc. Botan. de France XXV, 1878) mit einem Kopallack; Boussingault (147) verwendete Unschlitt. Sprengel (Von dem Bau und der Natur der Gewächse Halle 1812) nahm an, daß die Blattoberseite deshalb mehr ausdünsten müsse, da sie den Lichtstrahlen viel mehr ausgesetzt ist als die Blattunterseite. — Daß Kornblätter, wie Dehérain (79, 80) fand, durch die Oberseite mehr Wasser verdunsten, als durch die Unterseite, ist nicht wahrscheinlich, da Kornblätter nur an der Unterseite Spaltöffnungen besitzen.

Von wesentlichem Einfluß auf den Grad des Geöffnetseins der Spaltöffnungen und damit auf die Größe der stomatären Transpiration sind die einzelnen und die kombinierten Wirkungen äußerer Bedingungen. Ob die Spaltöffnungen in gegebenen Fällen „geöffnet“, „halb offen“ „teilweise geschlossen“ oder „geschlossen“ sind, kann auf verschiedenem Wege erkannt oder wenigstens erschlossen werden. Zunächst durch direkte mikroskopische Beobachtung. Ferner durch Bestimmung der Transpirationsgröße; denn ist bei einem Blatte die epidermoidale Transpiration gering, so wird die Größe der Gesamtverdunstung, die in diesem Falle hauptsächlich auf Rechnung der stomatären Transpiration kommt, bis zu einem gewissen Grade proportional sein dem Öffnungszustand der Spaltöffnungen, so daß man bei relativ hohem (durch Wägung ermittelten) Transpirationswert auf Öffnung, bei sehr geringer transpiratorischer Leistung auf eine mehr oder weniger vollkommene Clausur der Stomata schließen kann. Auch nach dem Stahl'schen Verfahren läßt sich aus der raschen oder langsamen Verfärbung des blauen Kobaltpapieres unter Berücksichtigung gewisser Umstände, wie Spaltöffnungszahl, Größe der epidermoidalen Transpiration usw. auf den Öffnungsgrad der Spaltöffnungen ein Schluß ziehen. Gewarnt muß vor den Methoden Merget's (138) werden, Blätter Quecksilberdämpfen auszusetzen oder dieselben mit Ammoniakwasser zu injizieren, um aus den Intoxikationserscheinungen im Mesophyll, beziehungsweise aus der Reaktion eines mit Salzsäure befeuchteten und dem Blatte genäherten Glasstabes auf das Vorhandensein von Spaltöffnungen und deren Öffnungszustand zu schließen.

Eine neue Methode, die es ermöglicht, sich über den jeweiligen Aperturzustand der Spaltöffnungen unter gewissen Voraussetzungen zu informieren, ersann Fr. Darwin (329, 381). Sie beruht auf der Krümmungsänderung von Lamellen hygroskopischer

Körper bei Änderung der Luftfeuchtigkeit. Diese Eigentümlichkeit verwertete der Autor bei seinem „Stipa-Hygrooskop“, beim „Horn-Hygrooskop“ und beim „Yucca-Hygrooskop“. Das Horn-Hygrooskop (Fig. 11) besteht aus einem Quadranten aus Kartenpapier, an dessen Basis ein kleines Korkstück ( $5 \times 4 \times 4$  mm) angekittet ist. An dessen Unterseite ist ein 8 mm langer, 3 mm breiter, zungenförmiger Streifen („tongue“) einer Hornsubstanz befestigt, der in eine Borste endigt, deren Spitze als Index an der Quadrantenskala dient. Das wesentliche Material ist ein aus gepreßtem Horn geschnittener, dünner, zwischen Glasplatten über einer Flamme erhitzter Spahn. Stellt man nach Darwin das kleine Instrument auf die spaltöffnungs-freie Seite eines Blattes, so bleibt der Zeiger — sehr schwache epidermale Transpiration vorausgesetzt — auf Null. Stellt man es aber

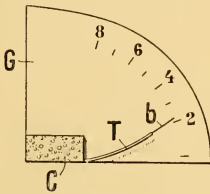


Fig. 11.  
Horn-Hygrooskop  
nach F. Darwin.

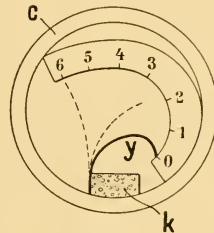


Fig. 12.  
Yucca-Hygrooskop  
nach F. Darwin.

auf die spaltöffnungsführende Blattseite, so krümmt sich die hygroskopische und elastische Hornzunge in wenigen Sekunden aufwärts und zwar um so mehr, je größer die durch Transpiration erzeugte Luftfeuchtigkeit ist. Die Brauchbarkeit dieses Hygroscopes zeigt sich in der Überprüfung seiner Angaben durch die gleichzeitige Ermittlung der Transpiration mittels der Methode der Wägung. Hier ein Beispiel: Bei einem Blatte von *Ficus elastica* wurde in kurzen Intervallen (innerhalb 11,15 h. a. m. und 4,50 h. p. m.) der jedesmalige Wasserverlust durch die Wage festgestellt. Dieser Verlust kommt fast ausschließlich auf Rechnung der stomatären Transpiration, da, wie Kontrollversuche lehrten, die epidermoidale Verdunstung des *Ficus*blattes außerordentlich gering ist. Gleichzeitig wurde die Stellung des Index am Hygroscope notiert. In der folgenden Tabelle ist der Wasserverlust des Blattes pro Stunde und 100 qcm Blattfläche in mg berechnet.

	Wasserverlust	Hygroskop		Wasserverlust	Hygroskop
1)	310	20—19	5)	72	9—6
2)	265	19—15	6)	60	6—0
3)	169	15—15	7)	24	0—0
4)	96	15—9			

Das „Yucca-Hygroskop“ von Darwin, welches gleich dem Stipa-Instrument (eine Stipa Granne) „is affected by accumulation of water vapour“, besteht (Fig. 12) aus einem Glasschälchen, wie es für Pilzkulturen gebraucht wird. Am Boden desselben ist ein Korkstückchen befestigt, welches einen Streifen aus der trockenen Epidermis von *Yucca alnifolia* trägt; eine Papierskala dient zur Messung. Legt man auf dieses Hygroskop ein mäßig transpirierendes Blatt, so verändert die Yucca-Zunge in wenigen Sekunden ihren Krümmungsradius. Die punktierte Linie in der Figur zeigt die sukzessive Lage des hygroskopischen Streifens in feuchter Luft. — Darwin macht noch darauf aufmerksam, daß man mit seinen Hygroskopen nur in einem trockenen Zimmer experimentieren könne, und daß beim Stand des Index auf Null nicht unbedingt auf einen absoluten Spaltenverschluß geschlossen werden muß.

Bezüglich des Lichteinflusses auf die Spaltöffnungen ergaben die Studien von Mohl, Unger, Czech, Schwendener, Kohl, Stahl, Aloï, Schellenberg, Feruzza, Darwin u. a., daß im allgemeinen die Spaltöffnungen der Laubblätter (von Landpflanzen) im Lichte geöffnet, in Dunklen geschlossen sind; unter den sichtbaren Strahlen des Spektrums haben nach Darwin die roten Strahlen die größte Wirkung auf die Apertur. Den Lichtverhältnissen entsprechend sind die Stomata an hellen Tagen geöffnet (das Öffnungsmaximum beobachtete Darwin zwischen 11—3 Uhr), während der Nacht (nach Darwin schon eine Stunde nach Sonnenuntergang) ganz oder zum Teil geschlossen. Indessen steht nach den Untersuchungen von Leitgeb der großen Zahl von Pflanzen, bei denen man zur Nachtzeit die Spalten geschlossen findet, wohl eine nicht minder große Zahl anderer unter denselben Vegetationsbedingungen lebender gegenüber, bei denen es zu keinem nächtlichen Spaltenverschluß kommt. Nach Darwin ist der nächtliche Schluß weniger allgemein bei nyktitropischen Gewächsen und bei Wasserpflanzen. Morren (Bull. de l'acad. royal des sc. de Belgique 2 sér., tom. XVI, 1863) glaubt auf Grund der von ihm gemachten Beobachtung, daß schädliche Gase ( $\text{SO}_2$ ) bei Tag und bei Nacht von den Blättern absorbiert würden, die Aufnahme aber nur durch die Spaltöffnungen erfolgen könne (?) annehmen zu müssen, daß letztere auch

im Finsternen offen bleiben, was ja tatsächlich bei verschiedenen Pflanzen der Fall ist.

Für einzelne Pflanzen divergieren die Beobachtungen. So sah Wiesner (127) die Blattspaltöffnungen bei *Hartwegia comosa* auch bei längerem Verweilen der Pflanze im Finsternen geöffnet, Kohl bereits nach 12 Stunden fast durchwegs geschlossen. Bei Maisblättern fand Mohl im Sonnenlichte, Kohl auch im diffusen Lichte die Spalten geöffnet, Wiesner hingegen auch bei längerer Insolation geschlossen.

Die Angabe von N. J. C. Müller (Jahrb. f. wissensch. Bot. Bd. VIII S. 75); daß ähnlich dem Lichte auch die Wärme (innerhalb gewisser Temperaturgrenzen) auf die Spalten öffnend wirke, konnte Schwendener (192) nicht bestätigen, denn im Dunklen blieben die Stomata selbst bei Erhöhung der Temperatur von  $15-17^{\circ}$  auf  $27-30^{\circ}$  auch im dunstgesättigtem Raum geschlossen; ebenso bei Blättern, die aus kaltem in warmes Wasser gebracht wurden. Auch Kohl konnte bei *Trianaea bogotensis*, *Alisma Plantago* etc. keine Öffnungsbewegung wahrnehmen, sowohl mit Benutzung eines heizbaren Objektisches als auch dann, wenn durch die von einer erhitzten Metallplatte ausstrahlende Wärme die Temperatur in der Umgebung der Pflanze von  $18$  auf  $25^{\circ}$  erhöht wurde. Nach Beobachtungen von Eberdt öffneten sich die Spaltöffnungen bei *Trianaea bogotensis* nach Einwirkung eines etwa  $30^{\circ}$  warmen, sehr feuchten Luftstromes sehr rasch, blieben 2—3 Minuten offen, schlossen sich dann aber vollständig; dagegen waren die mittels einer Jodschwefelkohlenstofflösung isolierten dunklen Wärmestrahlen weder imstande, geschlossene Stomata zu öffnen noch auch geöffnete zu schließen. Aus der Reaktion des Hygrometers, die Darwin erhielt, indem er in einem verdunkelten Zimmer eine erwärmte Glasplatte durch mehrere Minuten in der Nähe von *Trianaea bogotensis* beließ, wäre auf eine wenigstens partielle Öffnung der Stomata zu schließen. Derselbe Autor verschloß *Salvia*-Blätter mit offenen Spaltöffnungen in eine undurchsichtige Büchse mit einer Innentemperatur von  $24-30^{\circ}$  C, und legte zum Vergleiche ebensolche Blätter in einem dunklen, kühlen Zimmer aus. Nach zwei Stunden war das Hygroskop an den warmen Büchsenblättern von 28 auf 15, bei den kalten Zimmerblättern von 28 auf Null gesunken. Ähnliche Resultate erhielt er bei *Trifolium subterraneum* und bei *Tropaeolum*; hingegen schlossen sich die Spaltöffnungen von *Narcissus* und *Pelargonium* in der warmen Büchse ebenso wie in dem kühlen Dunkelzimmer.

Den Einfluß der dunklen Wärmestrahlen auf das Bewegungsvermögen der Schließzellen hat zuerst Kohl bei *Trianaea*

bogotensis experimentell studiert. Die gesunden Pflänzchen schwammen horizontal am Wasser kleiner Kristallisierschalen, die auf einem Mikroskopische standen. Das vom Mikroskopspiegel reflektierte Licht wurde durch eine Alaunplatte geleitet, bevor er die Pflanze traf. Bei diesem Ausschluß der dunklen Wärmestrahlen war zum Öffnen der Spalten meist die zwei- bis dreifache Zeit nötig als im direkten Sonnenlichte. Dieser Befund wurde an derselben Pflanze von Eberdt bestätigt, der die Versuche von Kohl mit der Modifikation wiederholte, daß er das durch den Spalt eines verfinsterten Zimmers einfallende Sonnenlicht durch eine mit konzentrierter Alaunlösung gefüllte Glasflasche gehen ließ. Darwin beobachtete, daß die Spaltöffnungen bei Blättern von *Campanula pyramidalis* durch 2—3 Stunden offen blieben, nachdem sie von Sonnenstrahlen getroffen wurden, die mittels eines Heliostaten in ein dunkles Zimmer geleitet und eine Lösung von Jodschwefelkohlenstoff passiert hatten.

Schon Mohl hat beobachtet, daß beim Welken der Blätter die Spalten sich schließen und Leitgeb hat darauf hingewiesen, daß dieser Verschuß in trockner Luft schon eintritt, bevor noch das Blatt sichtbar zu welken beginnt, was auch von Darwin bestätigt wurde. Auf Grund der Verfärbungen des Kobaltchlorürpapiers fand Stahl (293) bei verschiedenen Pflanzen (*Tradescantia*, *Pharbitis*, *Pelargonium*, *Tropaeolum*) die Spalten offenbleibend, auch wenn der Wasserverlust der Blätter zu deren Erschlaffung führte; sobald aber die Blätter in trockene Luft gebracht wurden, schlossen sich die Spalten in kurzer Zeit. Aus dieser Reaktionsfähigkeit der Spaltöffnungen auf Luftfeuchtigkeit ergibt sich, daß einerseits ein großer Feuchtigkeitsgehalt der Luft die Wasserabgabe besonnener Pflanzen begünstigt, die (im allgemeinen) unter diesen Umständen die Stomata weit öffnen und daß andererseits trockene Winde die Transpiration auch bei Insolation herabsetzen, wenn infolge vorübergehenden Welkens die Spaltöffnungen sich schließen (*Berberis vulgaris*, *Ribes aureum*, *Syringa vulgaris*, *Saponaria officinalis* nach Leitgeb, *Saxifraga sarmentosa* nach Wiesner).

Kräftiger vielleicht als Lufttrockenheit wirkt hier Trockenheit des Bodens. Nach den Untersuchungen von Leitgeb erfolgt bei zu geringer Bodenfeuchtigkeit unter allen Umständen Spaltenverschluß und häufig bevor noch irgend ein Welken der Pflanze bemerkbar wird. Dies bestätigten Aloï und Ferruzza, welche fanden, daß im Lichte die Spalten sich nur dann öffnen, wenn die Pflanze im Boden über genügende Feuchtigkeit verfügt. Es ist ein Verdienst Leitgeb's, zuerst darauf hingewiesen zu haben, daß der Pflanze durch



die Beweglichkeit der Spaltenapparate die Möglichkeit geboten ist, die Transpirationsgröße — unabhängig von der Tageszeit — ihrem Wassergehalte anzupassen und so die Gefahr eines zu weitgehenden Wasserverlustes abzuschwächen.

Indem Schellenberg (311) über verschiedene Pflanzen (*Iris germanica*, *Aconitum*, *Alchemilla*, *Viola*, *Galega*, *Helleborus*), die sich unter einer großen Glasglocke befanden, einen kohlenstofffreien Luftstrom leitete, fand er nach zwei Tagen bei allen Pflanzen die Spaltöffnungen geschlossen. Zu einem entgegengesetzten Resultate gelangte Darwin bei *Narcissus*, *Tropaeolum*, *Campanula*, *Taedia*. „The conclusion... of experiments is, that when illuminated, stomata remain open in the absence of  $\text{CO}_2$ .“ Es wäre daher wünschenswert, den Gegenstand neuerlich zu prüfen; indes kann man wohl annehmen, daß der relativ kleine und normal immer vorhandene Kohlenstoffgehalt der Luft keinen wesentlichen Einfluß auf den Öffnungszustand der Spaltöffnungen ausübt und daß daher, wenn belichtete Spaltöffnungen in normaler Luft sich öffnen, sie dies auch in einer kohlenstofffreien Atmosphäre tun. Dagegen schließen sich nach den Befunden von Darwin die Stomata in reiner Kohlenstoffdioxid, ebenso in Chloroform- und Ätherdampf je nach Umständen bald langsamer bald rasch. Nach Beobachtungen von Woods (286) vermochte selbst eine starke Ätherdosis die Spaltöffnungen verschiedener Pflanzen in stark diffusem Lichte nicht zu schließen; dagegen erfolgte unter dem Äthereinfluß der Schluß rasch in schwach diffusem Licht und im Finsternen.

Gelinde Erschütterung verursachte nach dem genannten Autor keinen Effekt in den Hygroskopangaben; wohl aber schlossen sich die Spalten bei einer solchen Erschütterung der Pflanze, die hinreichte, um eine Erschlaffung der Schließzellen zu veranlassen. N. J. C. Müller fand, daß Induktionsschläge Stomatenschluß zur Folge haben; nach Darwin kommt es auf die Intensität des elektrischen Schlages an: „Weak electric stimulation opens the stomata, stronger shocks close them.“

Übereinstimmend mit den Beobachtungen von Leitgeb und Schwendener, nach denen an den Blättern zahlreicher wintergrüner Gewächse in unserem Klima die Stomata im Winter geschlossen sind, ergab Stahl's Kobaltprobe den völligen Verschluß der Spaltöffnungen bei *Taxus*, *Buxus*, *Mahonia*, *Hedera*. Bei den im Herbst sich verfärbenden Blättern zeigten Kobaltprobe und Mikroskop, daß an den gelben und roten Blättern resp. Blattstellen die Spaltöffnungen geschlossen, an den grünen hingegen offen waren.

Dies kann als einer der Erklärungsgründe für die Beobachtungen von Rathay, Wiesner und Buscalioni angesehen werden, nach denen rote Blätter langsamer Wasser verlieren als grüne derselben Pflanze.

Anders als die Spaltöffnungsapparate mit chlorophyllhaltigen Schließzellen grüner Blätter verhalten sich die Stomata bei chlorophyllfreien Perianthien oder bei Laubblättern mit chlorophyllfreien Schließzellen. Schon Czech fand die Stomata nichtgrüner Perigone immer geschlossen; ebenso jene an den nichtgrünen Streifen panachiierter Aspidistrablätter. Kohl, der sich genauer mit dem Gegenstande beschäftigte, zeigte, daß chlorophyllarme und etiolinhaltige Schließzellen sich im Lichte nur träge und unbedeutend öffnen, chlorophyllfreie Schließzellen aber, wie jene an den weißgestreiften Blättern von *Evonymus japonicus* oder an den korollinischen Kelchblättern von *Clerodendron Balfouri* die Bewegungsfähigkeit ganz eingebüßt zu haben scheinen. Auch Merget (170) schloß aus den Verfärbungserscheinungen seiner Palladiumchlorürpapiere, die er auf panachierte Blätter legte, „que dans les parties blanches stomates ne fonctionnent pas“. —

Auf das anatomische Detail und den Mechanismus des Spaltöffnungsapparates, auf den Einfluß äußerer Agentien auf die Turgoränderungen der Schließzellen und benachbarten Epidermiszellen, gehe ich hier nicht ein; ich begnüge mich, auf die diesbezüglichen Untersuchungen insbesondere von Mohl, Schwendener, Unger, Leitgeb, Czech usw. hinzuweisen, eventuell auf die Darstellung des Gegenstandes in Sachs (Lehrbuch), Pfeffer (Pflanzenphysiologie), Haberlandt (Schenk Handbuch und physiologische Pflanzenanatomie), Strasburger (Praktikum).

Es mögen noch einige diesbezügliche Beobachtungen aus dem Anfange des vorigen Jahrhunderts kurz genannt werden. Banks (A short account of the causes etc. 1805) gibt an, daß die Spaltöffnungen bei trockenem Wetter geschlossen, bei feuchtem geöffnet seien; Amici fand im allgemeinen, daß die „Poren“ im Lichte geöffnet, während der Nacht geschlossen seien und meint, dieselben dienen nicht zur Ausdünstung sondern zum Ein- und Austritt von Luft. Moldenhawer sah die Spalten des Weißkohles an regnerischen Tagen und in tauigen Nächten geschlossen, an sonnigen Vormittagen (wenn die Blätter trocken geworden) geöffnet.

Über die epidermoidale Verdunstung belehren uns die Beobachtungen vieler Autoren, so z. B. jene von Garreau, Unger, Merget, Stahl, Kohl, Haberlandt, Schellenberg, welche die Wasserabgabe spaltöffnungsfreier Blattepidermen maßen, ebenso wie Versuche von N. J. C. Müller, Hofmeister, Zacharias u. A.

Es ist von selbst einleuchtend, daß eine einschichtige Epidermis mit schwach verdickter und wenig kutinierter Außenwand der Zellen dem Durchgang des Wasserdampfes einen geringeren Widerstand entgegensehen wird, als eine mehrschichtige, dickwandige und stark kutinisierte Oberhaut. Es ist auch bekannt, daß submerse Wasserpflanzen dünnwandige Oberhautzellen mit zarter, wachsfreier Kutikula haben; daher in trockene Luft gebracht, in kürzester Zeit welken und verdorren. Das andere Extrem bilden viele Pflanzen heißer und zugleich regenarmer Erdstriche mit mächtig verdickten und kutinisierten Epidermisaußenwänden, wofür (vgl. das Kap. „Schutzeinrichtungen“) Tschirch, Johow, Volkens, Fleischer u. A. Beispiele anführen. Da solche Blätter, die stark verdickte Epidermisaußenwände haben, in der Regel eine derbe Struktur, ein dichtgefügtes Mesophyll, häufig auch eine glatte, glänzende, das Licht reflektierende Oberfläche oder Wachsauflagerungen besitzen, so erklärt sich daraus die lange bekannte Tatsache, daß Pflanzen mit „lederartigen“ Blättern eine relativ geringe Transpiration aufweisen gegenüber Pflanzen mit dünnen, zarten Phyllomen. (Von älteren Autoren Hales, Guettard, Senebier, Neuffer, Unger.) Nach G. Haberlandt (Phys. Anat.) verhält sich die epidermoidale Transpirationsgröße zur Gesamtverdunstung (kutikulare + stomatäre) bei *Aesculus Hippocastanum* etwa wie 1 : 76, bei *Corylus Avellana* wie 1 : 81, bei *Pirus communis* wie 1 : 10,6.

Unrichtig sind die Angaben von Eder und von Merget (156), daß kutinisierte, spaltöffnungsfreie Epidermen für Wasser impermeabel seien.

Daß die so häufig vorkommenden Wachsüberzüge der Epidermis die Transpiration herabsetzen, ist lange bekannt und wiederholt durch direkte Versuche bewiesen worden, bei denen die Verdunstungsgröße eines intakten Blattes mit der eines solchen verglichen wurde, bei welchem das „Wachs“ durch Abwischen (oder Abwaschen) vorher entfernt worden war. So fand Garreau bei Blättern von *Centranthus ruber*, *Syringa vulgaris*, *Sedum verticillatum* und *Iris florentina* die Wasserabgabe 1,5—3 mal, Fr. Haberlandt (134) bei Rapsblättern um  $\frac{1}{3}$  größer, wenn die Wachsschicht abgewischt wurde. Nach Tschirch betrug die Gewichtsabnahme zweier Blätter eines Blattpaares von *Eucalyptus globulus* in Prozenten:

	Bereift	Vom Wachs befreit
Blattpaar I nach 24 Stunden	42,2	59,7
Blattpaar II „ 48 $\frac{3}{4}$ „	50,9	52,1

Sind die Wachsüberzüge mächtiger, dann deprimieren sie nicht nur die epidermoidale Transpiration nahezu auf Null, sondern vermindern, wenn sie die Spaltöffnungsapparate trichterförmig umgeben, auch die stomatäre Verdunstung.

Bei einer Reihe von Pflanzen wird die äußere Atemhöhle resp. der Vorhof mit winzigen Körnchen wachsartiger Natur ausgefüllt. Solche „verstopfte Spaltöffnungen“ wurden von Zuccarini, Thomas und von Wilhelm bei Coniferen, von Volkens bei *Pityranthus tortuosus* und *triradiatus* (Umbelliferen mit sehr reduzierten Blättern), sowie bei Arten von *Ephedra*, von G. Haberlandt bei der javanischen *Dischidia bengaiensis*, von Wulff bei verschiedenen Phanerogamen (Mono- und Dicotyledonen) beobachtet und beschrieben. Nach dem letztgenannten Autor, der sich vielleicht am eingehendsten mit diesem Gegenstande beschäftigt hat, beginnt die stomatäre Verstopfung oft schon sehr frühzeitig (Papaver)

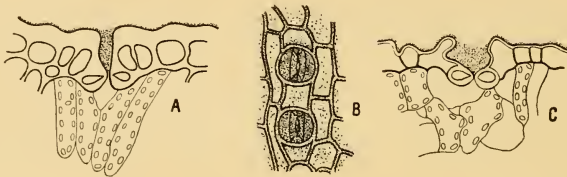


Fig. 13.

Verstopfte Spaltöffnungen nach Wulff.

- A. *Ephedra monostachia*, Querschnitt einer Spaltöffnung eines älteren Zweiges;  
 B. *Juncus pallidus*, Flächenschnitt eines sterilen Halmes; C. *Myrica Gale*,  
 Querschnitt der Spaltöffnung eines Blattes.

und erreicht verschiedene Grade: von einer Überlagerung der Spalten bei nicht oder nur wenig eingesenkten Spaltöffnungen angefangen bis zur vollständigen Pfropfenbildung bei tiefer, äußerer Atemhöhle (*Ephedra nebrodensis*, *Myrica Gale*, vgl. Fig. 13). Interessant ist die von Tschirch und von Wulff konstatierte Erscheinung, daß bei verschiedenen Pflanzen die Spaltöffnungen am Schafte als dem vorzugsweise wasserleitenden Organe viel vollkommenere Wachsverstopfungen aufweisen als die Blätter, die als hauptsächlich assimilatorische Organe einen regeren Gasaustausch nötig haben.

Über die chemische Beschaffenheit der Verstopfungsmasse sind die Meinungen geteilt. Link spricht von einer „harzähnlichen“, Volkens von einer „harzartigen“, Haberlandt von einer „harzigen“ Masse, Thomas und Schleiden von „Harz“,

Wilhelm (auf Grund eigener Untersuchungen) von einem „wachsartigen Körper“, Zuccarini, Tschirch und Wulff (letzterer infolge negativ ausgefallener Harzreaktionen) von „Wachs“. — Es ist mehr als wahrscheinlich, daß die Verstopfungsmasse der Spaltöffnungen bei manchen Pflanzen Harz, bei anderen eine wachsartige Substanz ist.

Wie ich der Abhandlung von Wulff entnehme, der die einschlägige Literatur zusammengestellt hat, wurden die ersten diesbezüglichen Beobachtungen über verstopfte Stomata von Link (1827) und von Schleiden (i. J. 1838) gemacht. Die Angabe von G. Haberlandt (Physiol. Pflanzenanat., p. 397) K. Wilhelm sei der Entdecker der Spaltöffnungsverstopfung, ist daher zu korrigieren. Auffallenderweise hatte bei dem Versuche Unger's (64) mit einem Blatte von *Saxifraga ligulata* die Entfernung der Wachsschichte nach leichter Waschung des Blattes mit Alkohol „nicht fördernd, im Gegenteile durch die nebenbei erfolgte Verdichtung der Cellulose eher hemmend auf die Transpiration eingewirkt“.

Noch auf andere Weise kann die Einstellung der stomatären Transpiration erfolgen, nämlich dadurch, daß die an die Atemhöhle angrenzenden Parenchymzellen in diese hineinwachsen und Thyllenartige Ausstülpungen treiben, wie dies Schwendener an älteren Blättern von *Camellia japonica* und *Prunus Laurocerasus* beobachtet hat.

Bezüglich des Einflusses der Epidermishaare auf die Verdunstungsgröße hat man nach Fleischer und Volkens (232) zwischen saftführenden und luftführenden Haaren zu unterscheiden. Die ersten erhöhen insbesondere im jungen Zustande (mit noch wenig kutinierter Oberhaut) die Verdunstung infolge Oberflächenvergrößerung des Blattes; tote Haare werden aber, insbesondere wenn sie dicht stehen, die Transpiration herabsetzen, da sie den Luftwechsel verzögern und die Wirkung der Insolation vermindern; es ergibt sich dieser Schluß aus der Tatsache, daß Pflanzen, welche heiße und regenarme Landstriche bewohnen, vielfach dicht behaart sind, worauf bereits Schrank im Jahre 1794 hingewiesen hat. Auch wurde von Vesque (Ann. sc. nat. Bot. 6. sér. Vol. XII. 1881) gezeigt, daß mit der Zunahme der Trockenheit des äußeren Mediums die Haarbekleidung sich steigert. Auch Unger (64) hat aus seinen Transpirationsbefunden geschlossen, daß dichte Behaarung einer Pflanze (*Verbascum Thapsus*) deren Wasseremission vermindert.

Über die Größe des Transpirationsschutzes, den ein epidermaler Haarfilz leistet, hat G. Haberlandt (Physiol. Pflanzenanatomie, S. 111) ein ziffernmäßiges Resultat gewonnen. Die fast gleichen Blätter eines Blattpaares von *Stachys lanata* wurden von

diesem Autor unterseits mit Kakaowachs überstrichen und hierauf von dem einen Blatte die oberseitige Haarwolle mittels einer gekrümmten Schere vorsichtig entfernt; vorsicht ist hier deshalb notwendig, damit nicht zugleich die Oberhaut verletzt werde. Nach Einkittung der kurzen Blattstiele in mit Wasser gefüllte Glasfläschchen und Aufstellung im Laboratorium betrug die 24 stündige Wasserabgabe des behaarten Blattes 0,646 g, die des geschorenen 0,915 g, was einem Transpirationsverhältnis von 1:1,42 entspricht. Bei einstündiger, direkter Insolation ergab sich das Verhältnis 1:2,09. „Man sieht also, daß ein Haarfilz schon im diffusen Lichte, ganz besonders aber bei direkter Insolation einen sehr ausgiebigen Transpirationsschutz gewährt.“

Durch das Abscheren der luftgefüllten Haare wurde eine große Zahl von Querwänden derselben bloßgelegt; den Flächeninhalt dieser sämtlichen Haarquerwände berechnete Haberlandt mit 14—15 qmm; die 24stündige Wasserabgabe dieser Fläche schätzt der Autor auf höchstens 0,01 g, was gegenüber 0,915 g eine zu vernachlässigende Größe bildet.

Über den Einfluß des Chlorophylls auf die Transpiration besitzen wir eine Reihe übereinstimmender Beobachtungen, dahin lautend, daß chlorophyllreiche Blätter im Lichte stärker transpirieren als chlorophyllarme oder chlorophyllfreie desselben Pflanzenstockes.

Schon Guettard gibt an, daß vergeilte Pflanzen weniger ausdunsten, als solche mit grünem Laube; die ersten experimentellen Versuche, die dann Wiesner (127) durchführte, ergaben, daß bei ergrünenden, etiolierten Maispflanzen mit der Zunahme der Chlorophyllmenge die Lichtwirkung auf die Transpiration wächst und daß normal ergrünte Exemplare im Lichte weitaus stärker transpirieren als etiolierte. Auch Merget (157) hat mit Hilfe seiner Eisen-Palladiumchlorürprobe gefunden, daß „l'activité de l'exhalation croit avec la richesse chlorophyllienne des tissus“. Konkrete Zahlen wurden später noch von anderen Autoren ermittelt. So fand Sorauer (178) die Verdunstungsgröße für Phaseoluspflanzen pro Gramm Trockensubstanz: etioliert 20, grün 47; pro Quadratdezimeter Blattfläche: etioliert 21, grün 30. Kohl bestimmte mittels des Garreau'schen Apparates die Transpiration der (spaltöffnungsfreien) Oberseite eines grünen und eines chlorotischen Blattes derselben Pflanze; für gleiche Blattfläche ergab sich das Verhältnis der Wasserabgabe des grünen und des weissen Blattes für *Funkia ovata* wie 76:51, für *Tradescantia zebrina* wie 41:28.

Rathay machte die interessante Beobachtung, daß rot gewordene Blätter von *Vitis vinifera* viel langsamer Wasser verlieren als grüne Blätter. Eine entgipfelte Lotte wurde in zwei, nahezu gleiche Stücke geteilt, von denen das obere ebensoviele rote, als das untere grüne Blätter trug. Auf einem Tische im Zimmer frei aufliegend, war nach 3 Tagen der Wassergehalt der grünen Blätter von 69,2 auf 11,4 Proz., der der roten Blätter von 65,9 auf nur 44,6 Proz. gesunken. In einem anderen Falle verminderte sich bei in Löschpapier eingelegten Lotten nach 3 Tagen der Wassergehalt der grünen Blätter um 52 Proz., der der roten Blätter um nur 22,3 Proz. Die langsamere Wasserabgabe roter Blätter gegenüber grüner konnte auch L. Linsbauer (Österr. Bot. Zeitschr. 1901) bei *Cornus sanguinea* konstatieren.

Daß grüne Blätter im Lichte stärker transpirieren als rote, chlorophyllreiche stärker als chlorophyllarme desselben Pflanzenstockes erklärt sich daraus, daß nach den Untersuchungen Wiesner's gerade die vom Chlorophyll absorbierten Lichtstrahlen auf die Transpiration besonders wirksam sind. Für die Richtigkeit dieser Annahme spricht das Resultat eines von Wiesner in Buitenzorg ausgeführten Versuches (zit. Nr. 315): Ein rotes (jüngeres) und ein grünes (älteres) Blatt von *Amherstia nobilis* standen mit dem Stiel in je einem, mit Wasser gefüllten und entsprechend verschlossenen Glaszylinder. Die Transpiration betrug bei freier Exposition pro Stunde und 100 g Lebendgewicht in g:

	Grünes Bl.	Rotes Bl.	Exponent
Sonne vollständig bedeckt . . . .	2,56	1,88	1,36
Sonne als Scheibe sichtbar . . . .	5,33	2,40	2,22
Sonne vollkommen unbedeckt . . . .	8,44	3,11	2,71

Man könnte wohl einwenden, daß sich bei Verwendung gleichalteriger roter und grüner Blätter andere Werte ergeben hätten; allein maßgebend ist hier die Tatsache, daß sich mit der Erhöhung der Sonnenwirkung die Transpiration des grünen Blattes in einem größeren Verhältnis steigert, als die des roten. Es darf hier auch nicht der Beobachtung von Stahl (293) vergessen werden, nach welcher sich die Spaltöffnungen bei abgeschnittenen roten Blättern früher oder besser schließen als bei grünen. Dies möchte ich zur Erklärung der obigen Angabe von Rathay anführen, nach der auch in Löschpapier eingelegte also dem Lichte entzogene rote Blätter viel langsamer Wasser verlieren als grüne.

Zu den Beobachtungen der genannten Autoren, insbesondere jenen von Rathay, betreffend die relative Verdunstungsgeschwindigkeit

keit grüner und roter Blätter derselben Pflanze füge ich bestätigend noch meine eigene hinzu. Ende September entnahm ich einem *Amaranthus* vier grüne und vier fast ebenso große rote Blätter; nach Verschluß der Schnittfläche wurde das Gesamtgewicht der grünen und das der roten Blätter bestimmt, hierauf alle Blätter mittels feinen Drahtes nebeneinander aufgehängt; nach 18 Stunden erfolgte die zweite Wägung und hierauf die Ermittlung der Trockensubstanz. Das Schlußresultat war folgendes: Der Wassergehalt der grünen Blätter hatte sich von 77,6 auf 34,2 Proz., der der roten Blätter von 76,4 auf 42,8 Proz. vermindert. Daß grüne Blätter stärker transpirieren als rote (derselben Art), wurde auch in neuester Zeit von Buscaglioni durch vergleichende Beobachtungen an *Achyranthes*, *Dracaena*, *Canna* etc. bestätigt.

Betreffs anderer Zellinhaltsstoffe wird von verschiedenen Autoren (Tschirch, Volkens, Fleischmann, Warming, Aubert) angegeben, daß schleimreiche, gerbstoffführende, salzhaltige sowie an organischen Säuren reiche Zellsäfte die Wasserabgabe retardieren.

Nach den Untersuchungen von Aubert (269), dem wir eine größere Arbeit über die Transpirationsverhältnisse der Sukkulenten verdanken, enthält der Zellsaft der Crassulaceen Apfelsäure, Spuren von Weinsäure und bisweilen Tannin; die Mesembryanthemen führen reichlich Oxalsäure, die Kakteen Apfelsäure, Weinsäure, dann hauptsächlich Gummi und Schleim. Interessant waren jene Parallelversuche Aubert's, bei denen bei verschiedenalterigen Blättern zweier gleicher Sprosse die Acidität des Zellsaftes und die Größe des Wasserverlustes ermittelt wurde. (*Sedum dendroideum*, *Crassula arborescens*, *Sempervivum tectorum*.) Es ergab sich nämlich, daß die Transpiration vom jüngsten Blatte bis zu einem der Terminalknospe noch nahe stehenden steigt, bei den älteren wieder sinkt, und sich bei dem ältesten (untersten) Blatte wieder etwas vergrößert. Andererseits wächst der Säurereichtum des Zellsaftes von der Terminalknospe an bis zu einem gewissen, voll entwickelten Blatte, und nimmt in den älteren Blättern wieder ab. „La transpiration d'une feuille est d'autant plus faible, que cette feuille contient plus d'acide malique, la courbe de l'eau transpirée présente un minimum, correspondant au maximum de la courbe d'acide malique.“

Es betrug beispielsweise bei *Sedum dendroideum* die Menge a) des transpirierten Wassers (mgr), b) die Menge der Apfelsäure (mgr) für ein Gramm Blattfrischgewicht vom jüngsten (I) Blatte an:



	a.	b.		a.	b.
I.	14,9	1,2	VI.	18,4	4,5
II.	22,9	2,3	VII.	19,1	5,1
III.	32,5	2,9	VIII.	13,5	5,6
IV.	35,5	3,5	IX.	7,8	5,6
V.	25,3	3,7	X.	13,4	5,1

Die sehr langsame Wasserabgabe der Sukkulenten auch beim Vorhandensein solcher äußeren Faktoren, durch welche die Transpiration anderer Pflanzen in hohem Grade beschleunigt wird, erklärt sich durch das Zusammenwirken einer Anzahl von Organisationseigentümlichkeiten. Dahin gehören: a) die schwache Ausbildung des Wurzelkörpers und des Wasserleitungssystems; b) die geringe Oberflächenentwicklung; beispielsweise berechnete Noll, daß bei einem kopfgroßen 3,1 kg schweren Echinokaktus die transpirierende Oberfläche 308 mal kleiner war als die des Laubes einer *Aristolochia Siphon* von gleichem Gewichte, so daß (auf Grund anderweitig ermittelter Daten) eine *Aristolochia* von gleichem Gewichte mit jenem Echinokaktus eine mindestens 5000 mal größere Transpiration aufweisen müßte wie dieser; c) stark entwickelte Kutikula (in vielen Fällen); d) Wachsüberzug; e) geringe Chlorophyllmenge in den tiefer liegenden Parenchymlagen; f) gummöse, schleimreiche und organisch-saure Zellsäfte. Daß sich die Sukkulenten, die sich bekanntlich aus verschiedenen Pflanzenfamilien rekrutieren, auch bei monatelanger Bodendürre lebend zu erhalten vermögen, verdanken sie auch dem Umstande, daß bei mangelnder Wasserzufuhr von außen die Terminalteile den tiefer stehenden, älteren Blättern Wasser entziehen, die infolgedessen in akropetaler Reihenfolge auf Kosten der jüngeren zu vertrocknen beginnen. Auf dieses, für die Lebensfähigkeit der Sukkulenten so wichtige *Displacement* des Wassers werden wir im XXVII. Kapitel ausführlicher zurückkommen. Ziffermäßige Daten, betreffend die Transpiration sukkulenter Gewächse, wurden von Guettard, Senebier, Neuffer, Decandolle, Garreau, Unger, Wiesner, Fleischer, Henslow, Ferruzza, Holtermann u. a. ermittelt. Ich möchte nur einige Zahlen zitieren, die Fleischer über die Geschwindigkeit des Wasserverlustes abgechnittener Blätter verschiedener Organisation anführt. Die betreffenden Blätter (von jeder Art mehrere) lagen auf dem Tisch eines großen Zimmers (diffuses Licht, Temp. zumeist 16—21 °). Es verloren 50 Proz. des ursprünglichen Wassergehaltes nach Tagen: *Chelidonium maius* 1, *Tropaeolum maius*  $1\frac{1}{3}$ , *Convallaria maialis*  $1\frac{3}{4}$ , *Abies Nordmanniana*  $3\frac{1}{4}$ , *Tradescantia guyanensis*  $12\frac{1}{2}$ , *Semprevivum tectorum* 72, *Bryophyllum calycinum* 100, *Cereus* sp. 204.

Die Widerstandsfähigkeit der Sukkulenten gegen Austrocknung ist augenfällig.

Von maßgebender Bedeutung für die Menge des im Inneren der Pflanze sich bildenden Wasserdunstes muß die Gesamtoberfläche der Interzellularen sein; denn es ist klar, daß ein stark entwickeltes Interzellularsystem infolge der dadurch vorhandenen großen, freien Oberfläche der verdunstenden Zellen eine reichlichere Wasserdampfbildung ermöglicht, als die Ausbildung eines dicht gefügten Zellengewebes. Es hat zuerst Sachs darauf hingewiesen, daß es bei der Beurteilung der Transpiration eines Organes nicht nur auf die Größe der äußeren sondern auch auf die der inneren, freien Oberfläche, welche durch die Gesamtfläche der Interzellularen gegeben ist ankommt, und für einen konkreten Fall (*Helianthus*) angenommen, daß die Totalfläche des Interzellularsystems des Blattes etwa zehnmal so groß sei als die der Kutikula. Unger (64) versuchte mittels Injektion von Blättern unter der Luftpumpe und aus der Gewichts-differenz der Blätter vor und nach der Injektion das Volumen der Interzellularen bei mehreren Pflanzen zu bestimmen; dieses bewegte sich zwischen 6,6 Proz. (*Begonia manicata*) und 32 Proz. (*Fuchsia fulgens*) des Blattvolumens.

Damit im Zusammenhange steht es, daß unter Bedingungen, bei denen die Wasserdampfausgabe herabgesetzt, oder bei denen die Wasserversorgung der Pflanze leicht ist, die Interzellularräume der Blätter relativ groß sind, das Mesophyll also eine lockere Struktur zeigt, während unter solchen physikalischen Verhältnissen, unter denen die Pflanze leicht und schnell Wasser verliert oder solches in nur kleiner Menge aufzunehmen imstande ist, die Mesophyllzellen, insbesondere die des Schwammparenchyms, dichter gefügt sind. So sind nach Untersuchungen von Areschoug und Stahl Schattenblätter reicher an Interzellularen als Sonnenblätter; Stahl (246) berechnete nach der Methode von Unger das Volum der Interzellularen bei Sonnenblättern von *Sambucus* mit 16 Proz. gegen 26 Proz. bei Schattenblättern; für *Fagus* mit 19 Proz. (Sonnenblätter) gegen 29 Proz. (Schattenblätter), bei *Urtica* mit 20 gegen 30 Proz. Übereinstimmend haben vergleichende Kulturversuche von Kohl, Eberdt, Lothelier (*Revue gen. de Bot.* V 1893), Brenner gezeigt, daß sich in sehr feuchter Luft das Interzellularsystem, insbesondere im Schwammparenchym reichlicher entwickelt. Mer (*Bull. soc. bot. de France*, XXX. 1883) fand dieselbe Erscheinung bei stärkerer Arroision des Bodens.

Um wieviel sich die Gesamtoberfläche der Interzellularen infolge ihrer Kleinheit bei gleichzeitiger Vielheit vergrößert, sei durch ein Beispiel illustriert. Die Lamina eines mittelgroßen Blattes habe, als Kreis betrachtet, einen Radius von 40 mm und eine Dicke von 0,25 mm; die Interzellularen würden zehn Prozent des Blattvolums ausmachen. Dann beträgt das Volum des Blattes 1256 cmm, das der Interzellularen 125,6 cmm. Diese müßten, in einem einzigen Interzellularraum vereinigt und diesen als Kugel gerechnet, eine Oberfläche von 120 qmm haben. Nehmen wir an, das Blatt sei hypostomatisch und besitze 200 Spaltöffnungen pro qmm, so ist die Zahl der Interzellularen mit 5 Millionen nicht zu hoch gerechnet, da schon die Zahl der Atemhöhlen 1,004800 beträgt. Entstehen aber aus einer Kugel von beliebigem Rauminhalt 5 Millionen Kugeln, so ist deren Gesamtoberfläche 170mal so groß, wie die einer einzigen großen Kugel von demselben Volumen.

#### IV. Einfluß äußerer Bedingungen auf die Ausbildung des Mesophylls.

Mit dem Studium des Einflusses äußerer, die Transpiration modifizierender Bedingungen auf die Ausbildung des Mesophylls, speziell des Pallisadengewebes der Laubblätter hat sich eine Reihe von Autoren beschäftigt. Nachdem schon Thomas (Jahrb. f. wissensch. Bot. IV 1865) gefunden hatte, daß das Pallisadengewebe sich ausschließlich oder doch vorwiegend an der Lichtseite der Blätter entwickelt, beobachtete Stahl (Botan. Ztg. 1880 ferner Nr. 246) an den Blättern unserer Laubbäume, daß sonnige Standorte eine stärkere Entwicklung des Pallisadenparenchyms, insbesondere die Bildung langer und schmaler Zellen, schattige Standorte eine bessere Ausbildung des Schwammparenchyms bedingen. Die Tatsächlichkeit eines fördernden Einflusses des Lichtes auf die Pallisadenausbildung bestätigten die im folgenden genannten Autoren. So fand Pick (Botan. Centr.-Bl. XI, 1882) auf Grund einschlägiger Beobachtungen, daß stärkere Beleuchtung die Entwicklung der Pallisaden begünstigt; Groszlik (Bon. Centr.-Bl. XX 1884) erkannte durch das Studium der Entwicklungsgeschichte des Mesophylls von *Eucalyptus globulus* und anderer Pflanzen, daß das Licht das Auftreten des Pallisadenparenchyms direkt verursacht und dessen Ausbildung fördert; Dufour (Ann. sc. nat. 7. sér, V. Vol. 1887), der Pflanzen (*Circaea*, *Helianthus*, *Faba*, *Fragaria*, *Ligustrum* etc.) in der Sonne und im Schatten kultiviert,

vierte, kam zu dem Ergebnis: *le tissu en pallasade est beaucoup plus developpé au soleil qu'a l'ombre.*“ Weiteres bestätigte Geneau (274) durch Messung der Höhe der Pallisadenschichte bei Sonnenblättern und bei Schattenblättern derselben Pflanzenart die Beobachtung von Stahl. Die Schichtdicke der Pallisaden betrug nämlich in Mikromillimetern: *Mirabilis Jalappa* Sonnenblatt = 135, Schattenblatt = 100; *Berberis vulgaris* S. = 61, Sch. = 39; *Salix rosmarinifolia* S = 150, Sch. = 60; *Quercus pedunculata* S = 85, Sch. = 35.

Eberdt (249) konnte bei *Magnolia acuminata*, *Tropaeolum maius*, *Chelidonium maius* und *Helianthus annuus* keinen Unterschied zwischen Sonnenblättern und Schattenblättern finden; in beiden Fällen waren gleich viele Pallisaden- und Schwammzellreihen ausgebildet. Derselbe Befund ergab sich bei einem im Lichte und einem im Dunklen zur Entwicklung gekommenen Sproß von *Clematis integrifolia*, *Phlox paniculata* und *Tropaeolum maius*. Eberdt hat dadurch die Überzeugung gewonnen, daß das Licht auf die Pallisadenbildung keinen — wenigstens nennenswerten — Einfluß hat, „daß das Licht niemals imstande ist, Pallisadenparenchym selbständig hervorzurufen.“ Mit Rücksicht auf die Beobachtungen von Stahl, Pick, Grosplik, Dufour und Geneau müssen die Angaben von Eberdt wohl mit Vorsicht aufgenommen werden.

Da die interzellulare Wasserdampfbildung im Schwammparenchym leichter und rascher erfolgt, als im Pallisadenparenchym, so ist es wahrscheinlich, daß die stärkere Entwicklung des Pallisadengewebes auf Kosten des übrigen Mesophylls im Lichte auf eine Verminderung der Transpiration hinzielt. Diesen Gedanken hatte Areschoug (245) bereits im Jahre 1882 ausgesprochen und beigefügt, daß vielleicht die Wasserverdunstung von Blättern mit mächtigem Pallisadengewebe auch durch die Fähigkeit dieser Zellen beschränkt werde, infolge des Chlorophyllreichtums Wärme zu absorbieren und dadurch das unterliegende, transpiratorische Gewebe gegen die zu starke Erwärmung durch einstrahlendes Sonnenlicht zu schützen. Auf Grund vergleichender Untersuchungen des Mesophylls von *Tropaeolum*-pflanzen, die Eberdt a) in trockenem Boden und trockener Luft, b) in feuchtem Boden und trockener Luft, c) in feuchtem Boden und feuchter Luft erzog, ferner nach den Befunden bei *Hydrolea spinosa*, die zuerst in einer sehr feuchten Atmosphäre (im „Aquarium“) dann in trockener Luft kultiviert wurde, stimmt dieser Autor der Ansicht von Areschoug bei, daß das Schwammparenchym das eigentliche assimilatorische Gewebe sei, das im feuchten Klima eine stärkere Ausbildung erfährt. Dagegen bezeichnet Eberdt die An-

nahme von Areschoug, daß, wenn durch andauerndes intensives Licht die Transpiration in einer, für die Pflanze nachteiligen Weise sich steigern würde, diese Pallisaden ausbildet und dadurch die Verdunstungsgröße moderiert, als nicht richtig. Nicht, wo wenig transpiriert werden soll, findet man nach Eberdt Pallisadenzellen stark ausgeprägt, sondern „immer dort, wo stark assimiliert und zu gleicher Zeit stark transpiriert wird“. Diese Behauptung ist wohl aus der Luft gegriffen und nicht richtig. Ich habe schon vorher angeführt, daß Eberdt bei seinen Versuchspflanzen, darunter auch bei *Tropaeolum* keinen Unterschied in der Zahl der Pallisaden- und Schwammzellreihen bei Sonnen- und bei Schattenblättern gefunden hat. Da man aber wohl annehmen muß, daß ein im Schatten zur Entwicklung kommendes Blatt weniger assimiliert und transpiriert, wie ein besser beleuchtetes und zeitweise direkt insoliertes, so sollte (nach Eberdt's Theorie) das Schattenblatt mehr Pallisaden haben, und es ist nicht einzusehen, warum (nach Eberdt's Befund) das Schattenblatt genau so viele Pallisaden- und Schwammzellreihen ausbilden sollte wie das Sonnenblatt. Treffend zeigt Areschoug die Haltlosigkeit der Eberdt'schen Behauptung von den Bedingungen der Pallisadenausbildung durch folgendes Beispiel: Vergleicht man etwa *Helianthus* und *Buxus*, so ist kein Zweifel, daß die gleiche Blättermasse in derselben Zeit bei *Helianthus* eine weit größere Menge organischer Substanz erzeugt, als bei *Buxus*; dennoch haben *Buxus*blätter ein weit mächtigeres und dichteres Pallisadengewebe als *Helianthus*. Areschoug hätte noch beifügen können, daß dieselbe Blattfläche bei *Helianthus* zweifelsohne auch stärker transpiriert als bei *Buxus*. Selbstverständlich fällt es Areschoug nicht ein, die Bedeutung der Pallisaden als Assimilationszellen zu verkennen. Eberdt's „Beweise“ für seine Ansicht — bemerkt Stenström — geben zu berechtigten Anmerkungen Anlaß. Denn aus seinen Kulturversuchen mit *Tropaeolum* etc. erfährt man nichts darüber, wie sich die Pallisaden unter den verschiedenen Bedingungen in bezug auf ihre Längenentwicklung verhielten. Bezüglich der *Hydrolea* erfährt man nichts darüber, ob in dem Raum mit der trockenen Atmosphäre die Lichtverhältnisse dieselben waren, wie in dem „Aquarium“ etc. Eberdt's Lehre, daß Pallisadenbildung durch das Zusammenwirken von starker Assimilation und Transpiration hervorgerufen werde, wäre erst dann berechtigt, wenn er gezeigt hätte, daß die Pallisadenbildung bei starker Assimilation und gleichzeitig schwacher Transpiration, ebenso auch bei schwacher Assimilation und gleichzeitig starker Transpiration (alles bei derselben Beleuchtung) unterbleibt. Eberdt's Versuche zeigen

nur, daß sich die Pflanze in trockener Luft durch Verdickung der Kutikula und<sup>1</sup> durch engeren Anschluß der Pallisaden einen Transpirationsschutz verschafft, der aber mit der Assimilation nichts zu tun hat.

Der Auffassung Areschoug's von dem Einfluß des Pallisadenparenchyms auf die Transpiration hält Haberlandt (Physiol. Pflanzenanatomie, 1896), entgegen, daß auch in diesem Gewebe Interzellularen vorhanden sein können, eine Tatsache, die, wie Haberlandt behauptet, Areschoug entgangen sein soll. Aber schon lange vor Haberlandt's Entdeckung hat Areschoug in einer größeren Arbeit über die Anatomie des Blattes (*Jemförande undersökningar öfver bladets anatomia*, Lund, 1878) dieselbe Beobachtung für eine größere Anzahl von Pflanzen mitgeteilt. Der Hauptsatz Areschoug's ist folgender: „Was das Pallisadengewebe anbelangt, das meiner Ansicht nach ein vorzugsweise assimilatorisches Gewebe ist, so habe ich nachzuweisen gesucht, daß dessen stärkere oder schwächere Entwicklung inklusive Dichtigkeit mit der stärkeren oder schwächeren Beleuchtung sowie der größeren oder geringeren Feuchtigkeit des Bodens wie der Luft im engsten Zusammenhange steht.“

Haben die früher genannten Autoren (exkl. Eberdt) die Richtigkeit der Areschoug'schen Lehre über die Beziehung zwischen Lichtstärke und Pallisadenentwicklung bestätigt, so ergaben die Beobachtungen von Vesque, Lothelier, Mer, Constantin, Brenner und Fabricius eine Bekräftigung der Ansicht Areschoug's über den Einfluß des Feuchtigkeitsgrades von Luft und Boden auf die Ausbildung des pallisaden Mesophyllanteiles. Vesque (*An. sc. nat. Bot.*, sér. 6, Vol. XII, 1881) hat sich nach den Befunden des Blattbaues von in trockener, beziehungsweise in feuchter Luft bei gleicher Beleuchtung erzeugten Erbsenpflanzen dahin ausgesprochen, daß infolge der günstigeren Transpirationsbedingungen im Lichte und in trockener Luft sich das Pallisadengewebe stärker entwickelt, sei es durch Vermehrung der Reihen, sei es durch Verlängerung der Zellen. Lothelier (*Rev. gen. de Botanique*, Vol. V. 1893), der Pflanzen (*Berberis*, *Crataegus*) in gewöhnlicher Luft und in einer sehr feuchten Atmosphäre kultivierte, fand für den letzteren Fall das Pallisadengewebe stark reduziert oder vollständig verschwunden, das Interzellularsystem stark entwickelt. Mer (*Bull. soc. Bot. de France* Vol. XXX, 1883) erzog Bohnenpflanzen einerseits bei reichlicher, andererseits bei sehr spärlicher Arrosion des Bodens. Im ersten Falle waren die Blattpallisaden

kegelförmig, unten voneinander abstehend, das Schwammparenchym hatte große Lakunen; bei großer Bodentrockenheit hingegen entstanden zylindrische, dicht aneinander schließende Pallisadenzellen und zugleich ein Schwammparenchym mit ausnehmend kleinen Interzellularen. Durch Vergleich der Struktur von unter Wasser gewachsenen Blättern von *Alisma*, *Stratiotes*, *Ranunculus aquatilis* mit solchen, die sich in der Luft gebildet hatten, fand Costantin (An. sc. nat. Bot. sér. 7, vol. III, 1894), daß sich die Wasserblätter „par la réduction ou même la disparition complète du tissu en pallisade“ von den Luftblättern unterschieden. Bonnier (Compt. rend. de l'acad. des sc. Paris vol. CXVIII, 1890) verglich den Blattbau zweier Individuen derselben Art, von denen das eine von Spitzbergen oder von Jan-Mayen, das andere von einem alpinen Standorte stammte. Die alpinen Pflanzen zeigten typische Pallisaden, die arktischen aber ein fast lakunäres Gewebe, das Bonnier der feuchten Atmosphäre im arktischen Gebiete zuschreibt. Brenner erzog Eichensämlinge (*Quercus pedunculata*, *sessiliflora*, *suber*) a) in feuchter Luft und in feuchtem Boden (Glasglocke und tägliches Gießen), b) in trockener Luft und in trocken gehaltenem Boden. Gegenüber den Trockenblättern hatten die Feuchtblätter tangential gestreckte Epidermiszellen mit schwach verdickter Außenwand, größere und mehr offene Stomata sowie ein viel lockerer gefügtes Mesophyll, sowohl bezüglich des Schwamm- wie des Pallisadenparenchyms. Damit im Zusammenhange zeigte, unter gleiche Bedingungen gebracht, die feucht gehaltene Pflanze eine viel raschere Verdunstungsfähigkeit, als die trocken gewachsene; beispielsweise betrug der Wasserverlust eines abgetrennten Blattes von *Quercus pedunculata* nach einer Stunde im ersten Falle 57,3 Proz., im zweiten Falle 5,2 Proz. des Anfangsgewichtes. Schließlich führe ich noch hierher gehörige Beobachtungen aus einer Arbeit von Fabricius an (Bot. Zentr. Bl. Beiheft, tom. XII, 1902 und Inaug.-Diss. der Univ. Basel [Jena, Fischer] 1902). Derselbe untersuchte die Anatomie einer Reihe von Pflanzen, die größtenteils vom Mount Harrison der Seychellen Insel Mahé stammten und von A. F. W. Schimper gesammelt wurden. Die Blätter der hohen Waldbäume zeigten 2—3 (oft hochzellige) Pallisadenschichten, die Blätter des im Schatten lebenden Unterholzes nur 1—2 Reihen von (oft kurzelligen) Pallisaden. Alle diese vielen Erfahrungen, sowie gelegentliche Beobachtungen anderer Autoren (Altenkirch, Holtermann u. a.) haben also ergeben, daß unter Verhältnissen, die eine größere Wasserökonomie seitens der Pflanze erfordern, namentlich bei kräftiger Insolation mit vorherrschender Lufttrocken-

heit und Bodendürre sich das Pallisadengewebe mächtiger und typischer ausbildet, einerseits durch Entstehung langer, englumiger, dichter gefügter Zellen, andererseits durch Vermehrung der Zellenlagen; gleichzeitig vermindert sich die Gesamtoberfläche der Interzellularen im Schwammparenchym und damit die freie, innere Verdunstungsfläche des Blattes.

Bezüglich des Einflusses der Höhenlage auf die Entwicklung der Pallisaden und die Transpirationsgröße kamen Bonnier und Leist zu gerade entgegengesetzten Resultaten. Bonnier (252) experimentierte u. a. in eigens eingerichteten Laboratorien in Chamounix und in Cadéac (Pyrenäen). Die Versuchspflanzen standen in hermetisch verschlossenen Töpfen, die Transpiration wurde durch Wägung ermittelt. Es zeigte sich, daß insolierte Pflanzen in bedeutenden Höhen stärker transpirieren als in der Ebene; im Dunkeln war dagegen die Wasserabgabe der Pflanzen am alpinen Standort fast gleich oder sogar geringer als die der Pflanzen in tieferen Höhenlagen. Bonnier's sorgfältige anatomische Untersuchungen ergaben: In bedeutenden Höhen werden die Blätter im allgemeinen dicker, das Pallisadengewebe entwickelt sich stärker und wird chlorophyllreicher als bei denselben Arten in der Ebene. Hingegen hat Leist (257) angeblich gefunden, daß in bedeutenden Höhen die Blätter dünner werden und sich das Pallisadengewebe schwächer entwickelt. Entweder haben nach Leist die alpinen Blätter weniger Pallisadenzellagen als Blätter derselben Art in der Ebene (bisweilen gar keine, wie *Soldanella alpina* und *S. pusilla*), oder wenn die Zahl der Zellagen nicht differiert, so haben die alpinen Formen kürzere und weitere Pallisaden. Leist kommt zu dem Ergebnis, daß die Sonnenblätter alpiner Standorte in der Regel mit den Schattenblättern der Ebene übereinstimmen. (Und die alpinen Schattenblätter?) Da ferner Versuche mit *Saxifraga cervifolia* lehrten, daß bei stark verminderter Transpiration eine geringere Ausbildung der Pallisaden erfolgt, daß die Verlängerung der Pallisaden und die Vermehrung ihrer Lagen durch stärkere Transpiration herbeigeführt wird, und daher die Alpenpflanzen gegenüber den Pflanzen der Ebene eine geringere Transpiration haben müssen, und zwar „auf bekannte Tatsachen gestützt“, infolge „großer Luftfeuchtigkeit und sehr großer Bodenfeuchtigkeit“.

Ich kann mich der Motivierung von Leist nicht anschließen. Was zunächst die Bodenfeuchtigkeit betrifft, so ist dieselbe im Alpengebiet nach meinen eigenen Erfahrungen sehr verschieden. So wie es in den Alpen Orte oder Gegenden gibt, in denen der Boden



fortwährend sehr feucht ist, so gibt es auch solche Reviere, in denen während eines großen Teiles der Vegetationszeit eine ziemliche Bodentrockenheit herrscht. Auch die große Luftfeuchtigkeit ist im Alpengebiete nicht überall und immer vorhanden. Ich stütze mich auch auf „bekannte Tatsachen“ und kann diesbezüglich keinen besseren Gewährsmann anführen, als den Meteorologen Julius Hann. Derselbe sagt in seiner „Klimatologie“, S. 177: „Das Charakteristische der Feuchtigkeitsverhältnisse größerer Gebirgshöhen ist der raschere Wechsel und die größeren Extreme derselben. Volle Sättigung der Luft mit Wasserdampf, auf dem Boden aufliegende Wolken wechseln häufig mit großer Lufttrockenheit.“ Ferner: „Die Evaporationskraft des Hochgebirgsklima darf deshalb nicht nach der relativen Feuchtigkeit allein beurteilt werden; der verminderte Luftdruck ermöglicht eine viel raschere Verbreitung der gebildeten Wasserdämpfe, also eine Beschleunigung der Verdunstung. Dazu kommt dann auch noch die zeitweilig während schöner Witterung herrschende große Lufttrockenheit.“

A. Wagner (278) findet, daß die Blätter der Alpenpflanzen keine so durchgreifenden Schutzanpassungen zeigen, wie solche starke Transpiration hervorgerufen pflegt. Aus dem Umstande, daß bei herabgesetzter Transpiration die Blätter der Alpenpflanzen nicht nur keine Reduktion, sondern selbst eine Steigerung der Pallisadenbildung zeigen, hat Wagner die Überzeugung gewonnen, daß nicht die Transpiration, sondern die Assimilation in erster Linie den Bau des Mesophylls beherrsche, „in der Weise, daß Zahl und Größe der Pallisaden nur von den Assimilationsverhältnissen, die Interzellularbildung auch von den Transpirationsverhältnissen abhängig ist“. Eine eingehende, kritische Beleuchtung der Versuchsergebnisse, Ansichten und Deduktionen von Bonnier, Leist und Wagner hat Stenström gegeben.

Lesage (292) verglich zwei Kulturen von Bohnen; die eine stand unter dem normalen Luftdruck der Ebene, bei der anderen wurde die Luft in der Umgebung der Pflanze wiederholt verdünnt. Nach Verlauf eines Monats waren in den Blättern, die unter dem geringeren Luftdruck entstanden, mehr Pallisaden entwickelt als in den Blättern der anderen Kultur. Lesage (291, 292) faßt die Ergebnisse der französischen Forscher bezüglich der Pallisaden zusammen: Das Pallisadengewebe entwickelt sich: 1. im Lichte mehr als im Schatten (Vesque, Lothelier); 2. in trockener Luft mehr als in feuchter (Dufour); 3. in den Luftblättern der Wasserpflanzen mehr als in den submersen (Constantin); 4. bei geringerem Luftdruck

mehr als bei höherem (Lesage); 5. in trockenem Boden mehr als in feuchtem (Mer); 6. in salzigem Boden mehr als in gewöhnlichem (Lesage); 7. bei mangelhafter Wurzelentwicklung in schlechtem Boden mehr als bei reichlicher Wurzelbildung in nahrhaftem Boden. Das Pallisadengewebe entwickelt sich somit stärker, wenn die äusseren Bedingungen für die Transpiration günstig sind (Nr. 1—4) oder wenn die Wasserabsorption erschwert ist (Nr. 5—7). Man muß daher annehmen — schließt Lesage — daß das Pallisadengewebe der Blätter einer der Apparate ist, „qu'emploie la plante pour se protéger contre une trop grande transpiration“.

## V. Transpirationsverhältnisse korrelativer Blätter.

Sachs (Handb. d. Experm. Physiol. p. 33) hat sich dahin ausgesprochen, daß die Spreite der Blätter, die einen differenzierten Petiolus haben, wie die netznervig geaderten Blätter der Dicotyledonen „gewöhnlich nach allen Dimensionen ihrer Fläche hin im Wachstum zurückbleiben, wenn die Beleuchtung sich mindert“. Ergänzend hierzu fand H. Pick (Bot. Zentr. Bl. XI. Bd. 1882) bei seinen vergleichenden Studien über das Mesophyll, daß die Sonnenblätter an Dicke die Schattenblätter übertreffen. (Hieracium, Lysimachia, Geum, Hedera, Sambucus, Tilia, Acer); er stellt daher, seine Beobachtungen mit denen von Sachs vereinigend, den Satz auf: „die Schattenblätter bleiben gegenüber insolierten Blättern nach allen Dimensionen in ihrem Wachstum zurück“. Bestätigt wurde dies durch Messungen, welche Dufour (Ann. sc. nat. Bot. 7. ser. tom V. 1887) an Blättern verschiedener Pflanzen (Circaea, Faba, Lupinus, Helianthus, Solidago) vornahm, die in der Sonne, beziehungsweise an einem schattigen Standorte kultiviert wurden. „A. un éclaircissement plus intense, la plante prend un développement bien plus considérable. Les feuilles arrivent aussi à des dimensions plus grandes et cela nous l'avons vu dans tous les sens en surface comme en épaisseur“.

Ich selbst habe an verschiedenen, in Auen und an Waldrändern stehenden Holzpflanzen vergleichende Messungen der Spreitenfläche

bei Sonnen- und bei Schattenblättern vorgenommen; hierbei wurden jedesmal ziemlich gleich alte Blätter von demselben Baumindividuum verglichen. Als Mittel aus je 8—10 Bestimmungen ergab sich das Verhältnis der Spreitengröße der Schattenblätter zu der der Sonnenblätter: *Alnus incana* 1 : 1,16, *Carpinus Betulus* 1 : 1,20, *Fagus silvatica* 1 : 1,24, *Acer Pseudoplatanus* 1 : 1,33, *Syringa vulgaris* 1 : 1,34, *Corylus Avellana* 1 : 1,34, *Tilia grandifolia* 1 : 1,50. Ich habe damit die Beobachtungen von Pick und von Dufour verifiziert, und es kann die Angabe von Stahl (246) und von Johow (208), daß Sonnenblätter kleiner wären als Schattenblätter nur für besondere Fälle (z. B. *Artocarpus Tocouba* nach Johow) richtig sein.

In den Blattabbildungen verschiedener *Quercus*-Arten, die Brenner (364) vorführt, erscheinen die Sonnenblätter meist kleiner als die Schattenblätter; bei *Quercus bambusaefolia* finde ich keinen Unterschied; bei *Quercus pedunculata* ist das Sonnenblatt größer als das Schattenblatt.

Die Befunde von Stahl und von Pick, daß an sonnigen Standorten dickere Blätter ausgebildet werden, als an schattigen, wurden auch von Hoehnel, Johow, Dufour und von Geneau (274) bestätigt. Beispielsweise ist nach Stahl das Sonnenblatt bei *Sambucus* fast doppelt, bei *Fagus* fast dreimal so dick als das Schattenblatt. Geneau fand das diesbezügliche Verhältnis der Blattdicke bei *Taxus baccata* etwa wie 1 : 1,4 bei *Berberis vulgaris* 1 : 1,5, bei *Quercus pedunculata* 1 : 1,7, bei *Mirabilis Jalappa* und bei *Fagus silvatica* 1 : 2,0. Man kann also resumierend sagen, daß die Laubblätter an einem sonnigen Standorte dicker und (im allgemeinen) größer werden als an einem schattigen. Was die Blattstruktur betrifft, so ergaben die Untersuchungen von Pick, Stahl und Brenner, daß das Mesophyll der Sonnenblätter dichter gefügt ist als das der Schattenblätter. So fand Stahl (nach der Methode von Unger), daß die Interzellularen in den Sonnenblättern in toto ein kleineres Volumen haben als in den Schattenblättern; z. B. bei *Sambucus* 16 Proz. gegenüber 26 Proz., bei *Fagus* 19 Proz. gegenüber 29 Proz. des Blattvolumens. Nach Brenner's vergleichenden Untersuchungen verschiedener Eichenblätter war bei den Sonnenblättern die obere Außenwand der Epidermiszellen viel stärker verdickt als bei den Schattenblättern, die Pallisadenzellen waren in mehr Lagen ausgebildet und typischer geformt, das Schwammparenchym war dichter gefügt. Aus dieser Verschiedenheit des histologischen Baues erklärt sich die Beobachtung von Hoehnel (166), daß unter sonst gleichen Bedingungen Schattenblätter stärker transpirieren als Sonnenblätter.

Ausgedehnte, nach sechs verschiedenen Methoden ausgeführte Bestimmungen der relativen Transpirationsgröße von in der Sonne resp. im Schatten erwachsener Pflanzen unternahm Geneau (274). Verwendung fanden bewurzelte Pflanzen, abgetrennte Sprosse, auch mit der Mutterpflanze in organischem Verbande gebliebene Blätter. (Solanum, Mirabilis, Berberis, Fagus, Carpinus, Quercus, Salix, Abies,

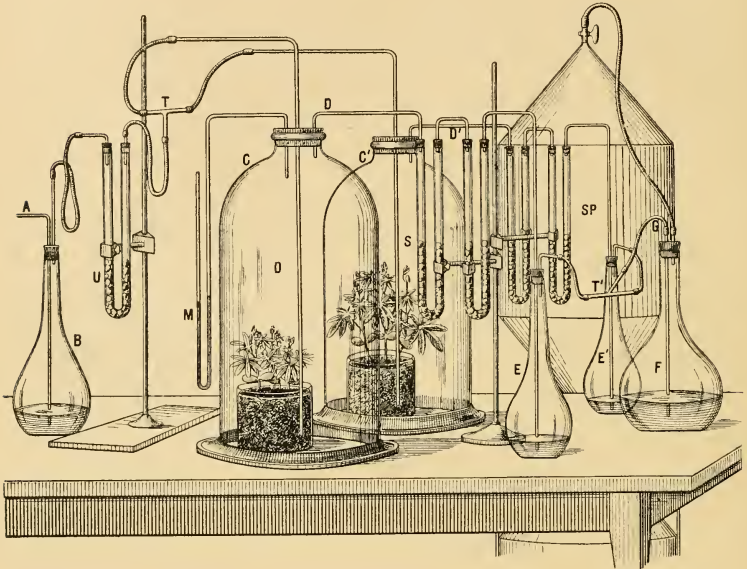


Fig. 14.

Apparat von G $\acute{e}$ neau de Lamarli $\acute{e}$ re zur gleichzeitigen Bestimmung der Transpiration einer Sonnenpflanze und einer Schattenpflanze.

Taxus etc.) In einzelnen F $\acute{a}$ llen wurden die Pflanzen, um den Einflu $\beta$  der gr $\ddot{o}$ ßeren Chlorophyllmenge des Sonnenblattes auszuschließen, bei Lichtabschluß aufgestellt. Welche M $\ddot{u}$ he sich Geneau nahm, um das relative Transpirationsverm $\ddot{o}$ gen von Sonnen- und Schattenbl $\ddot{a}$ ttern unter sonst gleichen  $\ddot{a}$ ußeren Bedingungen kennen zu lernen, ergibt sich aus dem von ihm komponierten und verwendeten Apparate, von dem Fig. 14 eine Reproduktion der Originalabbildung darstellt.

Die Luft passiert infolge der Aspiration zuerst die mit Schwefelsäure gefüllte Flasche B, um hier den Wasserdampf zu verlieren, dann das Rohr U, dessen Kalistücke das etwa mitgerissene Schwefelsäuregas absorbieren und gelangt zu dem T-Rohre, in welchem der Luftstrom geteilt und in die beiden gleich großen, hermetisch schließenden Glocken O und S dirigiert wird. Unter O steht die im Schatten erwachsene, unter S die in der Sonne entwickelte Versuchspflanze (*Lupinus albus*). Die aus den Glocken ausströmende Luft durchzieht je zwei mit Chlorkalzium gefüllte, genau gewogene U-Röhren, in denen der von der Pflanze evaporierte Wasserdunst zurückbleibt. Die wieder trocken gewordene Luft passiert die Flasche E beziehungsweise E', deren Schwefelsäure die erwähnten Chlorkalziumröhren von der feuchten Luft des Aspirators isoliert. Das Rohr T' vereinigt wieder die beiden Luftströme und leitet sie durch die Wasserflasche F zum Aspirator SP. Durch die Einschiebung der mit Wasser gefüllten Flasche F soll verhindert werden, daß Schwefelsäuregas in den Aspirator gelangt und dessen Metallwände beschädigt. Das Quecksilbermanometer M gibt über die Luftdruckverhältnisse im Apparat Aufschluß.

In allen Fällen (mit Ausnahme von *Ampelopsis*) ergab sich — unter sonst gleichen Bedingungen — ein rascherer Wasserverlust bei den Sonnenblättern: „on voit donc qu'à l'obscurité comme à la lumière les feuilles développées au soleil transpirent plus par unité de surface que les feuilles, qui ont poussé à l'ombre.“ Dieser Befund von Geneau ist überraschend; denn es läßt sich a priori annehmen, und die Ergebnisse der Hoehnel'schen Versuche haben es gezeigt, daß Schattenblätter infolge der schwächeren Verdickung und Kutikularisierung der Epidermisaußenwände sowie infolge der größeren Ausbildung der Interzellularen unter gleiche äußere Transpirationsbedingungen wie Sonnenblätter gebracht, größere Transpirationswerte ergeben als letztere. Dafür spricht auch folgende Beobachtung von Bucherer (*Bot. Centr. Bl. XV. Bd. 1890 S. 119*): Eine Topfpflanze von *Vicia Faba* wurde von der Keimung an in trockener Zimmerluft, eine andere bei derselben Beleuchtung und Temperatur in einer feuchten Kammer gezogen. Es ist bekannt, daß in letzterem Falle die Blätter eine zartere Epidermis und größere Mesophyllinterzellularen ausbilden. Die vollständig gesunden, etwa 70 cm hoch gewordenen Pflanzen wurden eines Abends gewechselt, d. h. die trocken erzogene Pflanze kam in die feuchte Kammer und umgekehrt. Am folgenden Morgen war die in feuchter Luft erzogene in der trockenen Luft verdorrt, während die in trockener Luft erzogene in der feuchten Kammer frisch blieb und sich weiter entwickelte.

In seiner Abhandlung über die Transpirationsgröße im feuchtwarmem Tropengebiete bemerkt Haberlandt (275), daß wenn man vorher beschattete Pflanzenteile (abgeschnittene Sprosse oder Blätter) plötzlich bei hoher Temperatur im direkten Sonnenlichte transpirieren läßt, man häufig in den ersten 10—30 Minuten bedeutend höhere

Transpirationszahlen erhält als später, „wenn sich der transpirierende Pflanzenteil der geänderten Beleuchtungsintensität bereits angepaßt hat“. Dies ist leicht erklärlich. Denn wir wissen, daß bei einem mit der Schnittfläche im Wasser stehender Zweig oder gar Blatt im direkten Sonnenlichte bei gleichzeitig hoher Lufttemperatur anfangs die Wasserabgabe so sehr die Wasseraufnahme überwiegt, daß sich der Wassergehalt des Sprosses (Blattes) kontinuierlich vermindert. Dieser Umstand, verbunden mit der Verengerung oder vielleicht Schließung der Spaltöffnungen infolge ungenügender Wasserzufuhr und großer relativer Lufttrockenheit bewirkt bald eine kontinuierliche Verminderung der Transpiration. Dahin reduziert sich die „Anpassung“ abgeschnittener Blätter, die bei verminderter Wasserversorgung trockener und zugleich heißer Luft ausgesetzt werden.

Verschiedene Forscher interessierten sich für die Frage, in welcher Weise sich die Verdunstungsgröße mit dem Alter des Blattes ändert. Die meisten und relativ besten Versuche in dieser Richtung machte Hoehnel (153). Es wurden die aufeinanderfolgenden Blätter eines Sprosses abgeschnitten und mit den Stielen einzeln in mit Wasser gefüllte Eprovetten mit Hilfe von Korken so befestigt, daß die freie Wasserfläche an der Verdunstung gehindert war. Die Transpirationsbestimmung erfolgte durch Wägung. In einer zweiten Versuchsreihe wurde durch entsprechend adjustierte, die einzelnen Blätter enthaltenden Gefäße Luft aspiriert, und diese durch gewogene, mit Chlorkalzium gefüllte Röhren geleitet. Hierbei ergab sich, daß die jüngsten Blätter ein Transpirationsmaximum aufweisen, daß während der Entwicklung des Blattes die Verdunstungsgröße anfänglich fällt, um dann wieder zu steigen und im völlig entwickelten Blatte ein zweites, niedrigeres Maximum zu erreichen. Nach Hoehnel läßt sich diese Erscheinung in folgender Weise erklären: Im jüngsten Stadium des Blattes ist nur kutikuläre Transpiration vorhanden, die wegen der Zartheit der Kutikula und Epidermiswand relativ groß ist. Mit der Entwicklung des Blattes verstärkt sich die Kutikula, die Transpiration sinkt; das Minimum fällt in jenes Stadium, in welchem die kutikuläre Verdunstung schon gering ist und die stomatare stärker wird. Letztere vergrößert sich immer mehr und erreicht im vollkommen entwickelten Blatte das Maximum, welches aber nicht jenes des jugendlichen Kutikularzustandes erreicht. Aus den von Hoehnel bezeichneten Zahlenreihen seien nur die folgenden mitgeteilt: Es betrug die zehnstündige (durch direkte Wägung ermittelte) Transpiration pro 100 qcm Blattfläche vom jüngsten Blatte angefangen bei *Tilia parvifolia*: 135, 102, 96, 104, 118, 115; bei *Ulmus*

campestris: 870, 362, 318, 320, 302, 433, 467; nach der Chlorkalziummethode bei *Pelargonium tomentosum*: 213, 119, 90, 105, 105, 112. Hoehnel's Befunde wurden von Aubert für Sukkulente bestätigt. Nach diesem Autor nahm bei *Sedum*, *Sempervivum* und *Crassula* die Verdunstungsgröße von der Terminalknospe bis zu einem dem Sproßgipfel nahen Blatte zu, sank in den folgenden (älteren) Blättern und erhob sich wieder ein wenig an den untersten (ältesten) Blättern. Diese Folge steht nach Aubert im Zusammenhang mit dem Reichtum der Blätter sukkulenter Pflanzen an organischen Säuren. Letztere nehmen von der Terminalknospe bis zu den in voller Entwicklung stehenden Blättern zu, von da gegen die alten Blätter ab; das Minimum der Transpiration korrespondiert mit dem Maximum des Gehaltes des Blattes an Apfelsäure:

*Sedum dendriticum*; Blatt I, II, III . . . X; Wasserverlust (Zeit?) pro g des Frischgewichtes: 15, 23, 33, 36, 25, 18, 19, 14, 8, 13 mg. — *Sempervivum tectorum*; Blatt I, II, IV, . . . XVI; Einstündiger Wasserverlust pro g Frischgewicht: 104, 118, 67, 63, 49, 61, 61, 66, 76 mgr.

N. J. C. Müller brachte sechs Blätter verschiedenen Alters eines Rebzweiges einzeln in Reagenzgläsern, die bis zu einer Marke mit Wasser gefüllt waren. Nach 24 Stunden betrug die Wasserverminderung in den Gefäßen pro 100 qcm der Blattoberfläche vom jüngsten Blatte an: 12,1, 9,9, 3,5, 2,5, 1,8, 2,8 ccm.

Zwei Transpirationsversuche, die ich mit Blättern von *Ampelopsis quinquefolia* und *Aesculus Hippocastanum* machte, bestätigten Hoehnel's Angaben. Je drei Blätter, ein großes, ein mittleres und ein sehr junges wurden von demselben Sproß abgeschnitten und mit dem Blattstiel in eine mit Watte verschlossene Eprövette eingestellt; nach 2 Stunden erfolgte die erste, 24 Stunden darauf die zweite Wägung. Während dieser Zeit standen die Blätter in der Dunkelkammer nebeneinander, und ergaben folgende Gewichtsverluste: *Ampelopsis*; pro 100 g Lebendgewicht: a = 57,6, b = 52,4, c = 83,8 g; pro 100 qdm Oberfläche: a = 58,3, b = 47,5, c = 67,0 g. *Aesculus*; pro 100 g Blattelebendgewicht a = 45,5, b = 37,4, c = 35,2 g; pro 100 qcm Oberfläche: 34,1 g, b = 31,5 g, c = 31,7 g.

Andere Autoren prüften mehr im allgemeinen, ob „alte“ oder ob „junge“ Blätter ein größeres Transpirationsvermögen besitzen. Das Ergebnis läßt sich dahin zusammenfassen, daß junge (nicht auch jüngste) Blätter unter sonst gleichen äußeren Bedingungen mehr Wasser verlieren als alte. So fand Dehérain (79) bei drei Kornblättern verschiedenen Alters, die

einzelnen in Glasröhren eingeschlossen, der Sonne exponiert wurden, die größte Menge kondensierten Wassers beim jüngsten, die kleinste beim ältesten Blatte, und Tschaplowitz (194) sah bei Bohnen- und bei Erbsenpflanzen, die teils als Topfpflanzen teils als Nährstoffkulturen verwendet wurden, eine Abnahme der Verdunstungsgröße mit der Zunahme des Blattalters. Experimentell konstatierte ferner Holtermann, der in *Paradenyia* interessante Beobachtungen über Laubfall und Wiederbelaubung sammelte, daß die neugebildeten Blätter in allen Fällen anfangs eine weit stärkere Verdunstung zeigten als im späteren Alter. Einer Nachuntersuchung wert wären die Transpirationsverhältnisse der Hopfenblätter, da Fleischmann und Hirzel fanden, daß unter Zugrundelegung der Verdunstungsgröße während der ersten zehn Minuten und bei Reduktion auf gleiche Fläche das alte Hopfenblatt im Mittel 2,5 mal mehr Wasser abgab als ein junges. Die Versuche fanden mit Benützung genauer Wagen statt; auf der einen hing (mittels eines Platindrahtes) das „alte“, auf der anderen das „junge“ Blatt.

Meine mit den Blättern einiger Sukkulenten gewonnenen Beobachtungsreihen bestätigen, daß junge Blätter (von der Pflanze abgetrennt und in der Luft hängend) einen schnelleren Wasserverlust erleiden als ältere.

Ein jüngeres (4,555 g) und ein älteres (4,913 g) Blatt von *Echeveria glauca*, an der Schnittfläche mit Stanniol verschlossen, zeigten, an einer wenig belichteten Stelle im Zimmer nebeneinander aufgehängt, folgende Gewichtsabnahme in Prozenten des Anfangsgewichtes (Gramm):

	jung	alt		jung	alt
nach 1 Woche	27,9	23,3	nach 4 Wochen	93,8	93,8
„ 2 „	48,6	40,6	„ 5 „	94,1	94,1
„ 3 „	91,8	70,1			

Unter denselben Verhältnissen war die prozentische Gewichtsabnahme eines kleinen (5,495 g) und eines großen (15,070 g) Blattes von *Aloe verrucosa*:

	jung	alt		jung	alt
nach 1 Woche	14,9	9,1	nach 5 Wochen	34,8	24,8
„ 2 „	22,1	14,1	„ 7 „	37,2	27,4
„ 3 „	26,0	17,6	„ 8 „	38,5	28,6
„ 4 „	27,9	20,3	„ 11 „	42,5	32,6
„ 5 „	31,0	22,7			

Ebenso ein junges (14,65 g) und ein altes (56,16 g) Blatt von *Agave vulgaris*:



		jung	alt		jung	alt
nach 1 Woche		9,9	5,9	nach 6 Wochen	16,3	14,8
„ 2 „		12,6	8,3	„ 8 „	18,6	17,9
„ 3 „		13,6	9,8	„ 25 „	85,3	79,3
„ 4 „		14,7	11,4			

Bereits Guettard bestimmte, um zu erfahren, ob junge oder alte Blätter mehr transpirieren, die Wasserabgabe eines Mandelzweiges im April und die eines anderen Zweiges derselben Pflanze im September. Letzterer transpirierte bei Reduktion auf gleiches Blattgewicht etwas mehr als ersterer. Die Angabe von Schirmer, daß Pflanzen mit älteren Blättern stärker transpirieren als solche gleicher Beschaffenheit mit jüngeren Blättern ist um so weniger begreiflich, als sich dieselbe aus seinen Versuchsergebnissen (mit *Coleus*-Topfpflanzen) nicht deduzieren läßt. Krutitzky soll gefunden haben, daß, je älter der Zweig ist, destoweniger verdunsten die einzelnen Blätter. Durch einen Versuch wollte Vesque (126) prüfen, welchen Einfluß die Transpiration der aufeinanderfolgenden Blätter einer Pflanze auf die Wasseraufnahme ausübt. Bei einem Sproß von *Helianthus tuberosus* mit 34 Blättern ergab sich, daß dieser Einfluß vom jüngsten Blatte angefangen stieg, beim 11. das Maximum erreichte, sich dann verminderte und vom 17. Blatte an einen fast stationären Wert behielt. \* Da die aufeinanderfolgenden Blätter ungleiche Größen hatten, mußte nach der Ansicht von Vesque auch das Alter der Blätter resp. deren verschiedene Transpirationskraft hier von Einfluß gewesen sein.

Ich schließe hier Versuchsergebnisse an, die Rosenberg (351) bezüglich der Transpiration diesjähriger und jener vorjähriger Blätter verschiedener sempervirenter Moorpflanzen erhalten hat. Nach Ausweis der Kobaltprobe zeigten die diesjährigen Blätter von *Ledum palustre*, *Andromeda polifolia*, *Oxycoccus palustris*, *Vaccinium Vitis Idaea* bald eine bedeutende Abnahme der Wasserausgabe, während die vorjährigen das Kobaltpapier immer noch verfärbten. Wesentlich dasselbe Resultat ergaben *Viburnum Tinus*, *Pittosporum Tobira* und *Rhus scoparia*, während bei *Evonymus japonicus* und *Laurus nobilis* die diesjährigen Blätter gegenüber den vorjährigen eine länger andauernde Wasserabgabe zeigten. Bei einer an *Viburnum Tinus* gemachten Beobachtung betrug die durch Wägung ermittelte Wasserabgabe pro Stunde und 100 qcm Blattfläche bei diesjährigen Blättern 0,038 g, bei vorjährigen 0,086 g. Rosenberg zitiert eine Arbeit von Lalanne (*Recherches sur les caractères anatomiques des feuilles de dicotylédones*, Bordeaux 1891), aus der hervorgeht, daß mit zunehmendem Alter des Blattes bisweilen bedeutende anatomische Veränderungen vor sich gehen, die nicht ohne Einfluß auf die Transpirationsgröße sein können. Auch Rosenberg macht auf die Beziehung der Blattform ein- und zweijähriger Blätter einerseits und des Ganges der Transpiration andererseits bei einigen Moorpflanzen aufmerksam (siehe Kapitel Schutzeinrichtungen).

Wir fügen hier die interessante Erscheinung bei, daß nach teilweiser Entlaubung einer Pflanze die restierende Blattfläche eine erhöhte Verdunstungstätigkeit entwickelt. Dies fanden übereinstimmend Hartig (152) bei einer fünfjährigen, reichbeblätterten Fichtentopfpflanze, bei der die Belaubung wiederholt reduziert wurde, Sorauer (202) bei jungen, bewurzelten Kürbistopfpflanzen, Kohl bei *Helianthus annuus*, *Nicotiana* und anderen Gewächsen. Bei dem Versuche Hartig's betrug die tägliche Verdunstung pro qm Blattfläche bei voller Belaubung = 270 g, bei Reduktion der Nadelmenge auf 0,6 = 272 g, bei Reduktion auf 0,3 = 460 und bei Zurückschneidung auf 0,1 = 607 g.

Gelegentlich seiner Studien über die Schutzeinrichtungen der Keimlinge ermittelte G. Haberlandt (135) das Verhältnis, in welchem die Transpirationsgröße der Keimblätter zu jenem der (primären) Laubblätter stehe. Zu einem dieser Versuche dienten drei ziemlich gleich entwickelte Pflänzchen von *Polygonum Fagopyrum* mit je 2 Keim- und 2 Primordialblättern. Nach Austopfung und Abspülung der Wurzeln wurden die Pflanzen einzeln in Eprovetten gebracht, in deren (durch Olivenöl abgesperrtes) Wasser die Wurzeln tauchten. Nachdem für alle drei Exemplare die Wasserabgabe innerhalb sechs Stunden (schwach diffuses Licht, Temp. 17° C) festgestellt war, wurden bei dem einen die Spreiten der Keimblätter, beim zweiten die Spreiten der Keim- und der Laubblätter entfernt und dann (nach Verschuß der Schnittflächen) neuerdings die Transpiration innerhalb 18 Stunden ermittelt. Nach entsprechenden Umrechnungen stellte sich pro qcm die Verdunstungsgröße der Keimblätter auf etwa 24 mg, die der primordialen Laubblätter auf etwa 13 mg. Bei einem zweiten Versuch mit isolierten Kotylen und Laubblättern ergaben sich 9,4 resp. 5,4 mg pro qcm. Die Transpirationsgröße der Kotylen übertraf also die der Laubblätter fast um das Doppelte. Bei einem analogen Versuch mit *Ricinus communis* verhielt sich die Wasserabgabe der Keimblätter (17,7 mg) zu jener der ersten Laubblätter (11,7 mg) wie 3 : 2.

Diese Befunde Haberlandt's wollte ich durch eigene Erfahrungen prüfen. Ich schnitt von einer jungen Buchweizentopfpflanze zuerst das die primären Laubblätter tragende Internodium ab und fixierte es mittels Baumwolle so in einer mit Wasser gefüllten Eprovette, daß die Blätter frei transpirieren konnten. Dann wurde ein gleiches Stengelstück mit den beiden Keimblättern abgetrennt und ebenso behandelt (die obere Schnittfläche war mit Vaseline verschlossen). Nach zweistündiger Exposition in hell-diffusem Lichte be-

trug der Wasserverlust der Kotylen 66 mg, der der Laubblätter 52 mg; nach Umrechnung auf gleiche Fläche ergab sich das Verhältnis 21 : 10. Durch einen zweiten Versuch mit einer anderen Fagopyrumpflanze fand ich das Transpirationsverhältnis der Keimblätter und Laubblätter gleich 24 : 10. — Ein dritter und vierter Versuch mit *Ricinus atropurpureus* (nach den Methoden von Haberlandt) ergab den Exponenten 14 : 10 resp. 18 : 10 (Mittel 16 : 10). Meine Ergebnisse bestätigen somit (für Fagopyrum und Ricinus) die Richtigkeit der Haberlandt'schen Befunde; beiderseits sind die relativen Transpirationswerte der Keimblätter und (ersten) Laubblätter wesentlich dieselben. Dagegen fand ich das Verhältnis der Transpiration der genannten Blattformen bei *Helianthus annuus* (bezogen auf gleiche Fläche) wie 10 : 8. Zu der größeren Wasserdampfabgabe der Kotylen mögen verschiedene Organisationseigentümlichkeiten beitragen. Ein Grund liegt nach Haberlandt in der Verteilung der Spaltöffnungen; ihre Zahl beträgt nämlich nach diesem Autor pro qmm auf der Oberseite [Unterseite]:

	Keimblätter	Laubblätter
Fagopyrum	76 [79]	47 [210]
Ricinus	106 [146]	70 [177]

Aus der gleichmäßigeren Verteilung der Spaltöffnungen auf beiden Seiten der Keimblätter muß man auf eine ebensolche Verteilung der Interzellularen schließen, und dieser Umstand ist es, der nach der Ansicht von Haberlandt die Transpiration der Keimblätter so sehr begünstigt. Deutlich ersieht man wieder, daß die Zahl der Spaltöffnungen allein keinen Maßstab für die Evaporationsgröße abgeben kann; denn bei der Buchweizenpflanze ist rücksichtlich der Keimblätter und primären Laubblätter das Verhältnis der Stomatazahl gleich 3 : 5, jenes der Transpirationsgröße etwa gleich 2 : 1.

Über die relative Transpirationsgröße der Laub- und der Nadelhölzer besitzen wir eingehende Beobachtungen von Hoehnel; speziell handelte es sich diesem Autor darum, den Wasserverbrauch der forstlich wichtigeren Holzgewächse kennen zu lernen. Zu diesem Zwecke verwendete Hoehnel (166, die Abhandlungen Nr. 167 und 168 sind Auszüge aus 166) 5—6jährige, in Gartentöpfen kultivierte Bäumchen, (*Acer*, *Betula*, *Carpinus*, *Fagus*, *Quercus*, *Tilia*, *Ulmus* — *Abies pectinata*, *Picea excelsa*, *Pinus Laricio* und *silvestris*); jeder Topf war in einem Zinkblechzylinder gut verschlossen. 36 Pflanzen standen unter einem vorspringendem Dache,

30 im Freien, allen meteorologischen Einflüssen ausgesetzt; die Wägungen wurden vom 27. Mai bis 1. Dezember (1878) täglich meistens morgens und abends vorgenommen. Es ergab sich, daß im allgemeinen die Wasserabgabe der Laubhölzer 8—10 mal — je nachdem man den Verbrauch während der ganzen Versuchsdauer oder nur während der Sommermonate rechnet — größer war als die der Nadelhölzer. Im nächsten Jahre (1879) erneuerte Hoehnel (174) seine mühevollen Arbeiten. Die in Töpfen kultivierten Bäumchen (ca. 100 Stück) standen vom 1. April bis 15. Oktober im Freien, von da ab bis zum 1. März in einem geschlossenen, heizbaren Raum. Das Verhältnis der Transpirationsgröße zwischen Coniferen und Laubhölzern wurde diesmal (wegen der höheren Temperaturen, der geringeren Regenmengen etc.) gleich 1:6 gefunden. Bei einer dritten Serie (184) kamen 52 Pflanzen zur Verwendung, die jedoch (samt den Begießungsflaschen) nur am Anfang (1. April) und am Ende (31. Oktober) der Versuchszeit gewogen wurden. Auf Grund der ziffernmäßig gewonnenen Resultate, die viele umfangreiche Zahlentabellen füllen, „kann es keinem Zweifel unterliegen, daß Esche und Birke auf das Laubtrockengewicht bezogen, am stärksten transpirieren, an diese Buche und Haine sich anschließen, hierauf die Ulme und endlich die Ahorne und Eichen kommen. Was die Coniferen betrifft, so gilt für diese die Ordnung: Fichte, Weißföhre, Tanne, Schwarzföhre zweifellos.“

Nach Messungen von Th. Hartig (124) würden sich die von ihm untersuchten Laubhölzer nach der Größe der auf gleiche Blattfläche reduzierten Transpirationsgröße wie folgt ordnen: Erle, Haine, Birke, Espe, Buche, Eiche. In einer anderen Abhandlung teilt Hartig (63) folgende Beobachtung mit: Von einer geringelten und einer nicht geringelten Weymoutskiefer wurde (anfangs März) je ein beblätterter Zweig ohne Trennung vom Baum (nach Guettard-scher Methode) in je einen Glaskolben eingeschlossen. Bei dem nicht geringelten Baume waren die inneren Ballonwände schon nach einer halben Stunde mit Feuchtigkeit reichlich beschlagen, während bei dem geringelten trotz des gleichen Saftgehaltes der Zweige und Blätter sich innerhalb dreier Tage nicht eine Spur von Kondensationswasser zeigte. Es mußte daher die Wasserabgabe „infolge mangelnder Zufuhr an Verdunstungsmateriale“ stark verringert worden sein. Aus anderen experimentellen Erfahrungen dieses Autors ergab sich das Transpirationsverhältnis sommergrüner Laubhölzer (Erle, Buche, Birke, Eiche, Aspe) und wintergrüner Nadelhölzer (Kiefer, Lärche, Fichte) im Durchschnitt gleich 2,5 : 1.

Vogel (86) fand das Transpirationsverhältnis einer Buche und einer Fichte gleich 5 : 4. Die Bäumchen wurden dem Walde entnommen und mit den Wurzeln samt anhaftender Erde in eine Flasche gestellt, welche die gleiche Walderde enthielt. Die Verdunstung wurde durch Wägung ermittelt.

Die Erfahrungen, welche Kusano (342) in Tokio sammelte, beziehen sich auf die winterliche Wasserabgabe japanischer Sempervirenten. Die verwendeten Pflanzen befanden sich in hermetisch verschlossenen Blumentöpfen und wurden von Ende Dezember bis Ende März täglich gewogen. Es waren: *Daphniphyllum macropodum*, *Eriobotrya japonica*, *Fatsia japonica*, *Illicium anisatum*, *Photinia glabra*, *Pittosporum Tobira*, *Quercus glauca*, *Ternströmia japonica*, *Thea japonica* — *Chamaecyparis obtusa*, *Cryptomeria japonica*, *Pinus Thunbergi*, *Podocarpus sinensis*, *Torreya nucifera*. Die durchschnittliche 24stündige Wasserabgabe betrug in Prozenten des Frischgewichtes (Fr.Gew.) resp. der Trockensubstanz (Tr.Sb):

	Fr.Gew.	Tr.Sb.	Fr.Gew.	Tr.Sb.
	Ende (17.—24.) Januar		Ende (21.—24.) März	
Koniferen . . .	8,18	19,72	39,16	93,90
Laubbölzer . . .	16,58	37,74	64,65	150,18
Relation . . .	1 : 2,02	1 : 1,9	1 : 1,65	1 : 1,6

Die Unterschiede in der Transpirationsgröße zwischen Nadelhölzern und wintergrünen Laubbölzern waren somit nicht bedeutend; denn das Verhältnis stellte sich etwa: Ende Januar wie 1 : 2, Ende März wie 1 : 1,6.

Bezüglich der Palmen ergaben sorgfältige Untersuchungen von Ferruzza mit Stahl's Kobaltprobe, daß diese Pflanzen im allgemeinen „con una certa energia“ transpirieren und daher ein großes Wasserbedürfnis haben, was auch mit der gärtnerischen Erfahrung übereinstimmt.

Schimper (260) hat darauf aufmerksam gemacht, daß die Halophyten der indo-malayischen Strandflora vielfach xerophytische Eigentümlichkeiten besitzen, wie Sukkulenz, kleine Blätter und Interzellularen, Wachsüberzüge. Es ist nun auffallend, daß viele von diesen Halophyten in einem durchnäßten Boden wachsen, also gleichsam hydrophile Xerophyten sind. Nach der Ansicht von Schimper beruht der Vorteil der (vom Autor angenommenen) schwachen Transpiration der Halophyten in der Vorbeugung zu großer, die Assimilation schädigender Anhäufung des Chlornatriums. Ich glaube aber, daß diese Theorie nicht ganz zutreffend ist, denn die verminderte Transpiration könnte zwar eine die Pflanze

schädigende Salzanhäufung verzögern, allein — insbesondere gilt dies für Gewächse mit mehrjährigen Blättern — nicht aufhalten.

Um einen Einblick in die Transpirationsverhältnisse der Halophyten zu gewinnen, sammelte Rosenberg (325) diesbezüglich zahlreiche Beobachtungen, teils direkt im Freien (an der Küste von Gotland, bei Oeresund und an der schwedischen Westküste), teils im Laboratorium. Von 17 Halophyten, bei deren Blättern Rosenberg die relative Transpiration der Ober- und Unterseite mittels der Kobaltprobe prüfte, gaben sieben vorwiegend durch die Oberseite und nur zwei vorwiegend durch die Unterseite Wasser ab; bei den acht übrigen war die Evaporation oberseits und unterseits fast gleich stark. Die gleichzeitige mikroskopische Untersuchung lehrte, daß sich diese Verschiedenheit in der Transpiration der beiden Blattseiten aus der Größe, Zahl und Verteilung der Spaltöffnungen nicht erklären lasse und man die Fähigkeit eines langsameren oder rascheren Spaltverschlusses als einen Erklärungsgrund annehmen müsse. Tatsächlich zeigte die Kobaltprobe bei abgetrennten Blättern von *Alsine peploides*, *Glaucium flavum*, *Lathyrus maritimus*, *Scirpus maritimus*, *Triglochin maritimum* auf verhältnismäßig rasche Verminderung und schließliche Sistierung der stomatären Transpiration.

Nach Rosenberg transpiriert vorwiegend die Unterseite des Blattes: *Cochlearia danica*, *Lathyrus maritimus*; beide Blattseiten fast gleich stark: *Alsine peploides*, *Atriplex hastata*, *Chenopodium* und *Triglochin maritimum*, *Crambe*, *Glaux* und *Matricaria maritima*, *Plantago scopulorum*; vorwiegend die Oberseite: *Aster Tripolium*, *Glaucium flavum*, *Kakile*, *Mertensia*, *Plantago* und *Silene maritima*.

Schon vor Rosenberg prüfte Stahl (293) das Transpirationsvermögen verschiedener Halophyten, kam aber zu einem gerade entgegengesetzten Resultate; denn an sonnigen Tagen abgeschnittene Blättern von *Sagine*, *Kakile*, *Triglochin*, *Chenopodium maritimum*, *Aster Tripolium* etc. röteten aufgelegtes Kobaltpapier ohne Unterlaß bis zum völligen Eintrocknen; gleichzeitig erschienen im Mikroskop bei allen diesen Halophyten die Spaltöffnungen mehr oder weniger geöffnet.

Mit Rücksicht auf die divergierenden Befunde von Stahl und Rosenberg wären erneuerte Untersuchungen über die Transpirationsverhältnisse der Halophyten erwünscht. Einen Beitrag hierzu lieferte in neuester Zeit Ricôme. Indem derselben Pflanzen, die in der Natur als Halophyten vorkommen, nämlich *Malcomia maritima* und *Alyssum maritimum* einerseits in gewöhnlichem, andererseits auf Salzboden kultivierte, dann in Knop'sche Nährstofflösung versetzte, zeigte es sich, daß (bezogen auf gleiches Anfangsgewicht) die auf normalem Boden erzeugten Exemplare weniger Wasser aufnahmen

und auch weniger Wasser durch Transpiration verloren, als die Salzpflanzen, und zwar deshalb, weil nach Ricôme's Ansicht die letzteren Schutzmittel gegen Wasserverlust ausgebildet hatten.

Friedrich Haberlandt (1933) hatte die interessante Beobachtung gemacht, daß in Wasser eingetaucht gewesene Blätter (Beta, Soja, Helianthus, Cannabis, Morus etc.) an der Luft rascher austrocknen, also stärker transpirieren, als solche, bei denen die Wassersubmersion unterblieb. Auch (durch vier Stunden) künstlich beregnetes Wiesengras trocknete rascher als trocken geschnittenes und unbenetzt gebliebenes. Der Autor erklärt die Erscheinung in der Weise, daß durch die Benetzung oder Submersion die imbibitionsfähige Oberhaut der Blätter mit Wasser durchtränkt und die Wasserleitung aus den inneren, Saft führenden Zellen der Blätter nach außen hergestellt wird. Die Beobachtung Haberlandt's, daß benetzt gewesene und abgetrocknete Blätter rascher welken, als unbenetzt gebliebene unter denselben Bedingungen, wurde von Detmer (Wollny, Forsch. auf d. Gebiete d. Agrikulturphysik I. 1878) bestätigt; desgleichen von Böhm (Nobbe, landw. Vers.-Station. XX, 1877), welcher fand, daß welk gewesene, unter Wasser aber wieder turgeszent gewordene Syringablätter an der Luft früher welken, als frisch abgeschnittene. Böhm's Erklärung dieser Erscheinung: „infolge der molekularen Umlagerung des Protoplasma“ ist charakteristisch für die so oft unklare Vorstellung eines physiologischen Vorganges seitens dieses Autors.

Wiesner (195) hat die Haberlandt'schen Beobachtungen ebenfalls bestätigt, zugleich auch dessen Versuche erweitert und modifiziert. So z. B. konstatierte Wiesner, daß untergetaucht gewesene, jedoch mit der Pflanze in organischer Verbindung stehende Blätter oder Sprosse (*Plantago Larpentae*, *Atropa Belladonna*, *Mercurialis perennis*, *Dahlia variabilis*, *Agerathum mexicanum*, *Saxifraga sarmentosa*, *Zea Mais*) an der Luft nicht welken, wenn ihnen genügend Wasser durch die Bodenwurzeln zugeleitet wird. Taucht man nämlich einen belaubten Sproß einer Topfpflanze unter Wasser, schneidet denselben nach einigen Stunden ab, und läßt ihn an der Luft welken, so verhält er sich nicht anders, als ein gleich abgeschnittener und ebensolange untergetaucht gewesener Sproß der Pflanze. Bleibt aber der untergetaucht gewesene Sproß mit der bewurzelten Pflanze im Verbands, so behält er nach beendeter Immersion bei genügender Bodenfeuchte seine Frische und Turgeszenz. Daraus folgt, daß die Benetzung der Blätter deren Transpiration und Wasserleitung befördert. Das raschere Welken benetzt gewesener

Sprosse erklärt Wiesner dadurch, daß durch die Wasseraufnahme die Membranen quellen, die Mizellarinterstizien sich vergrößern, wodurch die Wasserwege erweitert und die Transpirationswiderstände vermindert werden. Ein von mir gemachter Versuch (315) bestätigte gleichfalls die Richtigkeit der Fr. Haberlandt'schen Beobachtung. Bei einem abgeschnittenen, frischen, 4,54 g schweren Blatte von *Piper nigrum* wurde die Zeit notiert, die zu einem Gewichtsverlust von 20 mgr. nötig war. Diese Zeitdauer betrug nacheinander 8, 10, 10, 11, 12, 12, 12, 12, 13 Minuten. Nun wurde das Blatt mit Ausschluß der Schnittfläche durch vier Stunden unter Wasser gehalten, dann herausgenommen, und nachdem es augenscheinlich trocken geworden war, neuerdings auf die Wage gehängt; jetzt bedurfte es zum Verluste von je 20 mgr.:  $1\frac{1}{2}$ ,  $1\frac{1}{2}$ ,  $1\frac{1}{2}$ ,  $1\frac{1}{2}$ , 2,  $1\frac{3}{4}$ ,  $1\frac{3}{4}$ ,  $1\frac{1}{2}$ , 2,  $2\frac{1}{2}$ , 2 Minuten.

Einige kritische Bemerkungen von Volkens (215) über die Versuche von Fr. Haberlandt und von Wiesner, und „ein Zweifel an der Richtigkeit der in Rede stehenden Beobachtungen“ veranlaßte Kohl (230), neue Versuche anzustellen. Von zwölf bewurzelten Exemplaren von *Mercurialis perennis* wurden sechs mit dem beblätterten Teil in Wasser getaucht (wie lange wird nicht gesagt) die sechs anderen nicht, und nach Entfernung des „überflüssigen“ Wassers alle zwölf in größerer Distanz voneinander aufgestellt. Die sechs benetzten Exemplare welkten aber nicht früher, sondern beträchtlich später als die sechs unbenetzten. Dieses Resultat kann auch in der Weise erklärt werden, daß die Submersion des Laubes von nur sehr kurzer Dauer war, und daß dieses dann nur unvollkommen abgetrocknet wurde, so daß es infolge der die Pflanze umgebenden feuchten Luftschichte vor Wasserverlust besser geschützt war als das der nicht benetzten, bekanntlich leicht welkenden Vergleichspflanzen. „Zur weiteren Klärung der vorliegenden Frage“ stellte Kohl Versuche mit *Mercurialis*-pflanzen und dem Sachs'schen „Transpirationsapparat“ an. Es ergab sich, daß die „Transpiration“ sowohl nach der Benetzung einer Blattseite (mittels eines Pinsels) als auch dann, als die Blätter für das Auge bereits trocken erschienen, geringer war als vor der Benetzung. Dazu ist nur zu bemerken, daß Kohl nicht die Wasserabgabe durch das Laub, sondern die Wasseraufnahme durch die Wurzeln ermittelt hat. Aber selbst wenn Kohl tatsächlich die Transpiration gemessen hätte, wären seine Versuche keine Kontrolle der Resultate von Fr. Haberlandt, Detmer, Böhm und Wiesner, da die Versuchsbedingungen beiderseits verschieden waren.



## VI. Orchideenluftwurzeln, Gramineenähren; Laubfall; Welken von in der Luft oder unter Wasser abgeschnittener Sprosse.

---

Nabokich (344) bestimmte (durch Wägung) die Verdunstung und die Wassereinsaugung von Orchideentrieben, die mit ihren Luftwurzeln in mit Wasser gefüllte Gefäße tauchten. Während der fünftägigen Versuchszeit übertraf bei *Dendrobium nobile*, *Cattleya Trianae*, *Oncidium altissimum* die Wasseraufnahme die Transpiration auch an sonnigen Tagen; bei *Laelia anceps* zeigte sich, daß Aufsaugung und Verdunstung bis zu einem gewissen Grade unabhängig von einander erfolgten. Wurden die Wurzeln dadurch abgekühlt, daß das sie enthaltende Gefäß kontinuierlich durch kaltes Wasser oder durch Schnee abgekühlt wurde, während sich die Bulben und Blätter in warmer Luft befanden, so waren Absorption und Transpiration gering. Nabokich zeigt, daß die von Chatin, Goebel und G. Haberlandt angenommene Korrelation zwischen Ausbildung von Wurzelhülle und Wassergewebe der Orchideenwurzeln viele Ausnahmen aufweist und wendet sich ziemlich resolut gegen die von Unger, Duchartre, Leitgeb, G. Haberlandt und Schimper ausgesprochene Ansicht, daß die Luftwurzeln atmosphärische Dünste zu kondensieren vermögen. Das luftreiche Velamen ist nach Nabokich nicht zur Utilisierung von Tau und Nebel eingerichtet; die epiphytischen Orchideen sollen vielmehr nur solche Tautropfen benützen können, welche den Wurzeln durch die Abkühlung anderer Teile zugeführt werden.

Während Nabokich das Velamen als ein Schutzmittel der Luftwurzeln gegen schädliche Kältewirkung betrachtet, erklärt Wehmer dieses Gewebe als ein Transpirationsschutzmittel. Wurden nämlich abgeschnittene (an der Schnittfläche mit Paraffin verschlossene) Luftwurzeln verschiedener Orchideen (*Epidendrum nocturnum*, *Rodriguezia planifolia*, *Odontoglossum Barkeri*, *Vanilla planifolia*) teils im normalen Zustande, teils von der Wurzelhülle befreit, in einem mäßig warmen Zimmer belassen und deren Gewichtsverlust wiederholt festgestellt, so zeigte es sich, daß dieser bei den Wurzeln ohne Velamen in der ersten Stunde relativ groß war. Beispielsweise betrug der Gewichtsverlust der Wurzeln von *Epidendrum nocturnum* in Prozenten des Anfangsgewichtes:

		mit Hülle	ohne Hülle	
nach 24 Stunden	. . .	14,70	26,35	(4 : 6)
„ 72 „	. . .	40,75	51,35	(4 : 5)

Was die beiden Ansichten von Nabokich und Wehmer betrifft, möchte ich jener des zweitgenannten Autors beipflichten, daß das *Velamen radicum* in erster Linie ein Schutzmittel der Luftwurzeln gegen Wasserverlust bildet.

Es sei hier die Beobachtung von Sachs (60) eingeschaltet, nach welcher Wurzeln eines Kamelienstecklinges während vier Tagen in einem mit Wasser nahezu gesättigtem Raum 0,465 g an Gewicht verloren.

Daniel (272) wollte etwas über die Transpiration von Pflanzfreisern erfahren. Von drei Versuchsbohnen stand a) eine in den Spalt gepfropfte Pflanze in freier Luft; b) eine zweite unter einer Glasglocke; c) eine ungepfropfte Kontrollpflanze frei. Nach drei Tagen vertrocknete Pflanze a; bis dahin transpirierte die Kontrollpflanze etwa dreimal mehr als die gepfropfte, frei aufgestellte (a) und etwa sechsmal mehr als die unter der Glocke stehende, (b).

Die mit begranneten, und vergleichsweise mit entgranneten Ähren von *Hordeum distichum* nach der Methode der direkten Wägung ausgeführten Transpirationsversuche von Zöbel und Mikosch ergaben folgende Resultate: Die Grannen der Ähre sind Transpirationsorgane; die normal begrannete Gerstenähre transpiriert unter gleichen Verhältnissen zirka 4—5 mal mehr Wasser als die entgrannete. Die Transpiration der Gerstenähre verläuft ähnlich wie die der ganzen Pflanze mit einer Periodizität, auf welche insbesondere das Licht einen wesentlichen Einfluß ausübt. (Das Maximum liegt in den Vormittags-, das Minimum in den Abendstunden.) Der Anteil, den die Ähre an der Transpiration nimmt, entspricht zur Zeit ihrer Funktion etwa der Hälfte der Gesamttranspiration der Pflanze. Infolge der stärksten Wasserabgabe zur Zeit des größten Saftzuflusses kann angenommen werden, daß die Transpirationssteigerung der Grannen zur normalen Entwicklung der Frucht in Beziehung steht.

Dieses Resultat, daß Gerstenähren nach dem Abblühen und zur Zeit des größten Saftzuflusses am intensivsten transpirieren, stimmt mit dem Ergebnis überein, welches Fittbogen (89) bei seinen Studien über die Wasserverdunstung der Gerstenpflanze erhalten hat. Die betreffenden Pflanzen wurden in mit Nährstofflösung begossenem Quarzsand kultiviert und es wurden in ihrer Entwicklung fünf Perioden unterschieden. Während dieser betrug a) die Trockensubstanzzunahme,

b) die Transpiration in Gramm: I. a) 0,265, b) 57,4; II. a) 0,487, b) 175,5; III. a) 0,529, b) 156,2; IV. (vom Ende der Blüte bis zum Beginne des Körneransatzes) a) 0,584, b) 194,2; V. a) 0,082, b) 33,0. Es ergab sich somit, daß in jener Zeit, in welcher das meiste Wasser die Pflanze passiert, das Trockengewicht die größte Zunahme erfährt. Die Verdunstung wurde nach der Formel von Wolf (Landw. Vers.Stationen, Bd. VI. S. 210):  $V = P - (p + p')$  bestimmt, wobei P die Menge des aus der Pflanze und dem Boden verdunsteten Wassers, p die Menge des verdunsteten Bodenwassers, p' das „Vegetationswasser“ am Ende der jeweiligen Versuchsperiode bedeutet. Auch Perlitius bestätigt in einer jüngst erschienenen Abhandlung, daß die Entwicklung der Getreidekörner in engem Zusammenhange mit der Transpirationsgröße der Ähren steht und daß die Verdunstung in der Zeit von der ersten Entwicklung der Fruchtanlagen bis kurz vor Eintritt der Milchreife am stärksten ist. Die von Fruhwirth (ubi?) beobachtete, physiologische Wirkung der Grannen, dahingehend, daß die Grannen auf Volum, Stärkegehalt und absolute Aschenmenge der Körner einen steigernden Einfluß ausüben und die Vegetationsdauer verkürzen, werden von Perlitius auf den raschen Transport der Baustoffe durch Beschleunigung des Transpirationsstromes zurückgeführt.

In einer Broschüre betitelt „Elekrokultur“ teilt Lemström (Helsingfors) mit, daß gelegentlich der internationalen finischen Polar-expedition (1882—84) experimentell festgestellt wurde, daß die Grannen der Getreidearten die Fähigkeit haben, die atmosphärische Elektrizität aufzusaugen, und durch die Pflanze zur Erde zu leiten. Die Elektrisierung soll das Wachstum und die Produktionsfähigkeit der Pflanze erhöhen.

Die Beziehungen der Transpiration zum Laubfall wurden von Wiesner und von Molisch näher untersucht. Wiesner (88), der insbesondere die Ursachen der herbstlichen Entlaubung erforschte, stellte fest, daß im allgemeinen die zeitlich sich entlaubenden Holzgewächse eine größere Wasserausgabe leisten als diejenigen, welche ihre Blätter spät abwerfen oder als die wintergrünen Laub- und Nadelhölzer und daß durch den Temperaturabfall im Herbst die Transpiration der ersteren viel stärker deprimiert wird als die der letzteren. Die infolge der gehemmten Transpiration verminderte Saftleitung begünstigt die Bildung organischer Säuren, welche die Mittellamelle der Zellen der Trennungsschichte lösen und so die Abtrennung des Blattes hervorrufen. Bekanntlich vermindert sich die Transpiration mit der Abnahme der Beleuchtungs-

stärke; Wiesner schließt daraus, daß die mit dem Herbste fortschreitende Verminderung der natürlichen Belichtung einen (indirekten) Einfluß auf den Laubfall ausübe.

Von einem allgemeineren Gesichtspunkte aus behandelte Molisch (237) die Frage. Er bestätigte zunächst die von Wiesner festgestellte Tatsache, daß durch starke Herabsetzung der Wasserabgabe (im dunstgesättigten Raume) bei unseren, an stärkere Transpiration gewöhnten Holzpflanzen die Mehrzahl der Blätter in wenigen Tagen abgeworfen wird; gleichzeitig zeigte Molisch, daß solche Gewächse mit fallendem Laub, die einer großen Luftfeuchtigkeit angepaßt sind, die Blätter im dunstgesättigten Raum wochen- und monatelang behalten, dieselben aber nach unmittelbarer Versetzung in einen trockenen (für an einen solchen Standort angepaßte Pflanzen hinreichend feuchten) Raum in kurzer Zeit (die jedoch zur Bildung der Trennungsschicht hinreicht) abwerfen. Dies stimmt mit den gärtnerischen Erfahrungen an Gewächsen der Warmhäuser, Treibkästen, Mistbeete etc.). Solche, an feuchte Luft gewöhnte Pflanzen entledigen sich aber nicht nur in relativ sehr trockener Luft ganz oder teilweise der Blätter und verkleinern dadurch die verdunstende Oberfläche, der Laubfall erfolgt hier auch in feuchter Luft bei gleichzeitig unzureichender Wasserzufuhr, sei es infolge von Bodentrockenheit, sei es infolge von Wurzelverletzungen (z. B. beim Eintopfen von Freilandpflanzen). Sind Luft- und Bodentrockenheit vereint, so tritt der Laubfall noch rascher ein. Molisch macht auch darauf aufmerksam, daß die Dürschütte junger Kiefern als eine hierher gehörige Erscheinung zu betrachten sei. Diese kommt nach Frank (Pflanzenkrankheiten) dadurch zustande, daß durch die Frühlingssonne die Nadeln zu stärkerer Transpiration veranlaßt werden, während die Wasser aufnehmende Wurzeltätigkeit in dem noch kalten Boden kaum begonnen hat. Die im Spätherbste zeitweise sich einstellende Differenz zwischen Bodenwärme und Luftwärme und das dadurch geänderte Verhältnis zwischen Wasseraufnahme und Wasserausgabe ist nach Molisch gleichfalls ein den herbstlichen Laubfall befördernder Faktor. Experimentell zeigte ferner der genannte Autor, daß stark transpirierende Pflanzen mit weichem Laub (*Lantana*, *Goldfussia*) dieses im Finstern früher als im Lichte verlieren, auch bei Ausschluß der Verdunstung, so daß die verminderte Belichtung im Herbste noch in anderer Weise als durch Hemmung der Transpiration den Laubfall beeinflusst. Dadurch wurde eine, wie es scheint, wenig bekannte Beobachtung von Méese aus dem Jahre 1776 bestätigt. Derselbe stellte in zwei mit Wasser gefüllte Gläser je einen Zweig von *Daphnis*; nach Bedeckung

mit Glasstürzen wurde der eine Zweig ins Licht gestellt, der andere mittels eines Kartons verdunkelt. Nach 3 Wochen waren bei dem dunkelgestellten Zweige alle, bei dem nicht verdunkelten nur zwei Blätter abgefallen.

Während Guettard meinte, der Laubfall werde durch zu starke Transpiration veranlaßt, sprach sich Decandolle im entgegengesetzten Sinne aus: „Befindet sich eine Pflanze im Dunkeln, so geht sie dadurch, daß die Transpiration aufhört und die Einsaugung fort dauert, in einen wassersüchtigen Zustand über, der das Abfallen der Blätter bedingt. Nach Molisch haben unter Voraussetzung bestimmter Bedingungen beide Autoren Recht.

Wir teilen hier noch die Resultate mit, welche de Vries (109) über das Welken von in Luft oder unter Wasser abgeschnittenen krautigen Sprossen (größtenteils *Helianthus tuberosus*) erhalten hat:

1. Ein in der Luft abgeschnittener und dann mit der Schnittfläche in Wasser gestellter Sproß welkt um so früher, je jünger die Stelle des Sprosses ist, wo der Schnitt gemacht wurde, und je länger die Dauer der Unterbrechung (Berührung mit der Luft) anhält, wobei schon wenige Sekunden von Einfluß sind.
2. Das Welken tritt auch ein, wenn man bei einem mit der Schnittfläche bereits unter Wasser stehenden turgeszenten Sproß einen neuen Schnitt in der Luft macht.
3. Beläßt man einen intakten Sproßgipfel längere Zeit unter Wasser und schneidet dann in der Luft ab, so tritt, nachdem man den Sproß mit der Schnittfläche in Wasser gestellt und die Blätter abgetrocknet hat, das nachträgliche Welken um so später ein, je länger die vorgängige Untertauung dauerte.
4. Entfernt man an einem in der Luft abgeschnittenen Sproß vor dem Welken mehrere Blätter, so kann der Sproß frisch bleiben.
5. Schneidet man einen Sproß unter Wasser ab und beläßt ihn darin, ohne die Schnittfläche mit der Luft in Berührung gebracht zu haben, so bleibt er turgeszent.
6. Macht man bei einem in der Luft durchschnittenen, mit der Schnittfläche unter Wasser stehenden Sproß 5—6 cm höher einen neuen Schnitt unter Wasser, so bleibt der Sproß turgeszent.
7. Stellt man in kaltem Wasser stehende, welche Sprosse mit der Schnittfläche in Wasser von 35—40° C oder unterbricht man durch Untertauchen unter Wasser oder durch Überdecken mit einer Glasglocke für einige Zeit die Transpiration, bis der Sproß sich erholt hat, so tritt nach nunmehrigem Eintauchen der Schnittfläche in kaltes Wasser das Welken später ein als anfangs.

Diese Erscheinungen suchte v. Hoehnel (136) aus seinen Untersuchungen über den in den Gefäßen herrschenden negativen Luft-

druck, dessen Existenz bekanntlich aus den Beobachtungen von Hales mit zwingender Notwendigkeit folgt, zu erklären.

Folgende interessante Beobachtung machte Wiesner (195): taucht man einen abgeschnittenen beblätterten Sproß (*Vitis*, *Ampelopsis*, *Rubus*, *Lycium*) mit dem zarten Terminalteil unter Wasser, während sich gleichzeitig die älteren Blätter in Luft befinden, so entziehen diese infolge Transpiration dem untergetauchten Sproßgipfel, und zwar vornehmlich dessen Stengelteil Wasser gewöhnlich so reichlich, daß die Stengelenden ganz schlaff werden wie beim Welken der Pflanze an der Luft; dies erfolgt um so früher, je günstiger die Transpirationsbedingungen für die außerhalb des Wassers befindlichen Blätter sind.

---

## VII. Peridermbesitzende Organe, Lentizellen.

---

Mit der Ermittlung der Wasserabgabe peridermbesitzender, blattloser Zweige hat sich eine Reihe von Autoren beschäftigt. Wir lassen die betreffenden Untersuchungen chronologisch folgen.

Th. Hartig (66) verschloß unbelaubte Zweigspitzen verschiedener Laubbäume in Probiergläschen; nach einer gewissen Zeit, oft erst nach 24 Stunden wurden die inzwischen innen feucht gewordenen Gläser durch trockene ersetzt und aus der Gewichtszunahme der ersteren die Menge des von den Zweigenden verdunsteten (und kondensierten) Wassers bestimmt. Nach der Größe des Wasserverlustes ordneten sich die Versuchspflanzen: *Alnus* — *Quercus* — *Robinia* — *Fagus*. — *Juglans*, *Betula* — *Tilia*, *Acer*, *Fraxinus*, *Pirus* — *Aesculus* — *Ulmus*, *Salix*. Knop (68) bestimmte den Wasserverlust von blattlosen Birnbaum- und *Corylus*-zweigen, die in kurzen Intervallen, meist von 10 zu 10 Minuten, gewogen wurden. Eder ermittelte bei ein- bis dreijährigen Zweigstücken, die er langsam austrocknen ließ, durch wiederholtes Abwägen den sukzessiven Wasserverlust. Ob die erhaltenen Resultate die viele Zeit und Mühe lohnten, die für die Gewinnung der 36 Druckseiten füllenden Abhandlung Eder's aufgewendet wurden, bleibt dahingestellt. Wiesner und Pacher (115) untersuchten die Transpiration entlaubter Zweige und Stammstücke von *Aesculus Hippocastanum*. Es ergab sich unter anderem, daß

die Größe der Wasserabgabe im umgekehrten Verhältnisse zu dem Alter der Zweige stand, daß Periderm und Borke (auch bei geschlossenen Lentizellen) für Wasser permeabel sind, daß die jüngsten Zweige durch das Periderm gegen Wasserverlust besser geschützt sind als ältere (dreijährige), endlich daß die Blattnarben der Verdunstung einen geringeren Widerstand entgegenseetzen als das benachbarte Periderm. Bei jüngeren Zweigen war ein Wasserverlust auch bei Temperaturen unter Null zu konstatieren. In einer späteren Abhandlung zeigte Wiesner (171), daß die Permeabilität der Peridermzellwand für Flüssigkeits- und Gasmoleküle vom Wassergehalte der Wand abhängig ist. Im imbibierten (jugendlichen) Zustande dringen Flüssigkeitsmoleküle durch dieselbe hindurch und in Gasform nach außen; bei Eintrocknung der Korkzellwand (im Alter) wird sie jedoch für Gase impermeabel. Gerade umgekehrt als eine Peridermzelle verhält sich eine Parenchym- oder Holzzelle; je stärker deren Wand mit Wasser imbibiert ist, desto langsamer erfolgt der Druckausgleich der Gase. R. Hartig (197) prüfte die Transpiration einjähriger Baumzweige. Dieselben wurden nach Verschluß der Schnittfläche in einzelne Bündel locker zusammengebunden, gewogen und auf einen offenen Altan gelegt, so daß Licht und Luft, Wind und Regen ungehindert einwirken konnten. Während der Versuchsdauer (9. April bis 6. Mai) wurden die Zweigbündel täglich anfangs 2—3 mal, später nur einmal gewogen. Die Verdunstungsgeschwindigkeit stellte sich in den ersten Tagen (also bei noch fast normalem Wassergehalte der Zweige) vom kleinsten Wert an gerechnet, wie folgt: Birke, Eiche, Rotbuche, Hainbuche, Schwarzkiefer, Rotföhre, Fichte; dieses Ergebnis stimmt mit einer früheren Beobachtung des Autors, nach welcher sich während des Winters der Wassergehalt der Rotföhre und Fichte ansehnlich, jener der „Eiche“ und besonders der Birke sehr wenig vermindert.

Nach Beobachtungen von Kny (353) verloren abgeschnittene Zweigenden winterlich entlaubter Holzpflanzen (bei verschlossener Schnittfläche) in kühlem Raume (7—15° C) liegend, erhebliche Mengen von Wasser. Bei *Syringa vulgaris*, *Fraxinus excelsior*, *Acer Pseudoplatanus* und *Ulmus scabra* war der Verdunstungsverlust an Internodiumstücken verhältnismäßig erheblich größer als an Knospen, während sich bei *Carpinus Betulus* und *Aesculus Hippocastanum* zwischen beiden Teilen nur ein geringer Unterschied zeigte. Knospen von *Syringa*, *Fraxinus*, *Aesculus* erfuhren größere Gewichtsverluste, wenn die unter ihnen befindlichen Blattnarben ungehindert verdunsten konnten, als wenn sie verkittet waren. Es ist nicht zu

zweifeln, daß die einjährigen Zweige entlaubter Holzgewächse während eines sehr trockenen Winters ziemliche Wassermengen durch Transpiration verlieren können.

Saftperiderm nennt Wiesner (262) ein direkt aus dem Phellogen hervorgehendes, aus lebenden (saftführenden) Zellen bestehendes Dauergewebe. Bei der Kartoffelknolle entsteht aus dem Phellogen zuerst Saftperiderm, aus diesem das tote Periderm. Wiesner's Versuche belehren uns über den Transpirationsschutz, welchen das Periderm der Kartoffelknolle bietet. Eine Kartoffel mit totem Periderm gab (Temp. 15—18° C, rel. F. 65—78 Proz.) in je 24 aufeinander folgenden Stunden: 0,27, 0,21, 0,20, 0,18, 0,16, 0,16 Proz. ihres Gewichtes an Wasser ab; eine bloß mit Saftperiderm bedeckte Kartoffel von fast demselben Gewichte verlor unter gleichen äußeren Bedingungen: 1,35, 0,84, 0,42, 0,31, 0,29, 0,27 Proz. Wasser, also bedeutend mehr. Der rasche Abfall der Verdunstungsgröße im zweiten Fall erklärt sich daraus, daß sich innerhalb 1—2 Tagen aus den peripheren Zelllagen des Saftperiderms totes Wundperiderm bildet. Poljanec (302) berechnete das Verhältnis der Wasserabgabe für dieselbe Oberfläche: Kartoffel mit ganzem Periderm, Kartoffel bloß mit Saftperiderm, Kartoffel ohne jedes Periderm = 1 : 4 : 200.

Mit der Transpiration der Kartoffelknollen befaßten sich noch andere Autoren wie Nägeli (Wasserabgabe geschälter und ungeschälter, der Frostwirkung ausgesetzter und frostfrei aufbewahrter Knollen) Knop (68), Schleh (dreitägige Verdunstungsgröße), Eder (geschälte und ungeschälte Knollen), Van Tieghem und Bonnier (182) u. a.

Ich komme auf die Lentizellen zu sprechen. Zur Prüfung ihrer Durchlässigkeit für Gase benutzte Stahl (100) U förmig gebogene Glasröhren mit ungleich langen Schenkeln. In den kürzeren Schenkel wurde das untere Ende des zu untersuchenden (Lentizellenbesitzenden) Sproßstückes luftdicht eingepaßt; die obere Schnittfläche war verkittet. Hierauf wurde die Röhre in ein entsprechend großes, mit Wasser gefülltes Gefäß eingestellt und in den langen Röhrenschenkel Quecksilber eingegossen. Die dadurch in der Röhre komprimierte Luft dringt durch die untere Schnittfläche in den Zweig und kann durch die Lentizellen, falls diese geöffnet sind, in das Wasser austreten. Im Sommer war es leicht, mit geringem Druck größere Mengen von Luft durch die Lentizellen zu treiben, im Winter jedoch nicht. Trotzdem Stahl allerdings mit Anwendung eines sehr großen Druckes bei einigen Zweigstücken z. B. *Tilia parvifolia* und *Crataegus coccinea* einzelne



Luftblasen hervortreten sah, hat er sich doch die Ansicht gebildet, daß die Lentizellen im Winter geschlossen seien. Costerus, der Stahl's Versuche wiederholte, fand wie dieser die Lentizellen im Sommer geöffnet; im Winter schienen sie geschlossen zu sein, doch nicht allgemein; denn bei *Sambucus nigra* konnte Costerus auch in der kalten Jahreszeit Luft durchpressen. Die winterliche Durchlässigkeit der großen *Sambucus*lentizellen wurde auch von Haberlandt, Wiesner und Zahlbruckner konstatiert.

G. Haberlandt (112) fand die Lentizellen bei den untersuchten Pflanzen (mit Ausnahme von *Sambucus*) im April—Mai bei 20 cm Quecksilberdruck geschlossen; Mitte Juni waren sie bei *Acer*, *Aesculus*, *Morus*, *Gleditschia* offen, dagegen bei *Tilia*, *Ligustrum* und *Robinia* angeblich noch immer geschlossen. Dies stimmt nicht ganz mit den Befunden von Klebahn und Zahlbruckner, die sich eingehender mit dem Gegenstande beschäftigt haben. Auf Grund von Druck-Diffusions- und Transpirationsversuchen kam Klebahn (199, 209) zu folgenden Hauptresultaten: 1. Die Lentizellen sind auch im Winter offen. Dies wurde bei mehr als 70 Pflanzenarten konstatiert; bei mehr als der Hälfte derselben konnte schon bei 3—6 cm Quecksilberdruck deutliches Austreten von Luftblasen wahrgenommen werden. 2. Die Durchlässigkeit für Luft ist nur bei manchen Holzpflanzen (*Aesculus*, *Cornus alba*) im Sommer eine viel leichtere als im Winter; bei *Alnus glutinosa* sind die Lentizellen im Sommer nur wenig durchlässiger, bei *Betula papyracea*, *Ampelopsis quinquefolia*, *Cornus stolonifera*, *Prunus Padus* nicht mehr durchlässiger als im Winter.

Zahlbruckner (224) hat darauf hingewiesen, daß die Stahl'sche Methode zum Nachweise der Luftdrucklässigkeit gut geöffneter Lentizellen ganz praktisch sei, sich aber für zweifelhafte Fälle, für feinere, exakte Resultate erfordernde Versuche nicht eigne; denn es sei zu beachten, daß nach dem Stahl'schen Verfahren der zu untersuchende Sproß sich unter Wasser befindet, wodurch die Füllzellmasse der Lentizellen aufquillt und dadurch den Austritt des Luftstromes erschwert. Ferner sei es, da bei wenig offenen Lentizellen ein großer hydrostatischer Druck zur Luftauspressung notwendig ist, fraglich, ob dadurch nicht in der zartwandigen Verjüngungsschicht feine Risse entstehen. Tatsächlich ergaben entsprechende, mit 18 Holzpflanzen gemachte Experimente Zahlbruckner's, daß benetzte Lentizellen in viel geringerem Grade für Luft passierbar sind, als trockene. Auffallende Unterschiede zeigten namentlich *Ailanthus glandulosa*, *Alnus glutinosa*, *Caragana frutescens*,

Paulownia imperialis, Staphylea pinnata. Zahlbruckner bediente sich deshalb der Methode von Wiesner: An einer 30—40 cm langen Glasröhre ist seitlich, nahe ihrem oberen Ende ein wagrecht abstehender, kurzer Schenkel kommunizierend angebracht, der sich in einen, mit einem Quetschhahn absperribaren Kautschukschlauch fortsetzt. Am oberen Ende der Glasröhre wird das untere Ende des Zweigstückes (dessen oberes Ende sorgfältig verkittet ist) luftdicht befestigt; hierauf wird mittels des Schlauches in die in einem Gefäß mit Quecksilber stehende Glasröhre Quecksilber aufgesaugt und der Quetschhahn eingeklemmt. Es ist klar, daß bei sonst gasdichtem Verschluss und bei Integrität der Zweigrinde — die Methode erfordert große Rigorosität — die Quecksilbersäule nur bei geschlossenen Lentizellen ihre ursprüngliche Höhe beibehält. Bei den von Dezember bis Februar durchgeführten Versuchen wurde bei Negundo, Ampelopsis, Corylus, Robinia, Syringa, bei Populus und Salix-Arten ein rasches, bei Aesculus und Cercis ein sehr langsames Sinken des Quecksilbers beobachtet. Andere im Frühjahr nach der Methode von Stahl durchgeführte Versuche ergaben, daß sich die Lentizellen bei Aesculus, Gleditschia, Syringa, Ulmus effusa während der Blattentwicklung öffnen und schon vor der vollständigen Ausbildung der ersten Laubblätter ganz geöffnet sind.

Daß die Lentizellen für Luft durchlässig sind, wurde schon von Hales konstatiert. Dieser Forscher befestigte in dem Tubus eines Rezipienten den zu untersuchenden Sproß derart, daß die obere, am Querschnitt verkittete Hälfte desselben mit der Atmosphäre kommunizierte; der untere Teil ragte mit seiner Schnittfläche in ein mit Wasser gefülltes Gefäß im Rezipienten selbst. Wurde nun die Luftpumpe in Gang gesetzt, so drang die äußere Luft in die Lentizellen und trat am unteren Querschnitte in Form von Bläschen ins Wasser heraus. Daß die Lentizellen nicht nur mit den Interzellularen der Rinde sondern auch mit denen des Holzes kommunizieren und für die Durchlüftung des Holzkörpers von Bedeutung sind, haben die Versuche von Hales, Sachs, Klebahn und insbesondere jene von Zahlbruckner gelehrt und die Haltlosigkeit der gegenteiligen Ansicht von Hoehnel (Jahrb. f. wiss. Bot. XII. Bd.) dargetan. Devaux kommt in seiner großen (15 Druckbogen umfassenden) Lentizellen-Abhandlung zu der Ansicht, daß die Lentizellen selbständige Organe sind, die im Dienste der Transpiration stehen und nur nebenbei der Durchlüftung dienen. Die Bildung von Verschlusschichten und von Füllzellen steht in Beziehung zu den Transpirationsverhältnissen der Lentizellen: „Ce sont donc des ouvertures automatiquement réglées, qui maintiennent l'hydrese (Wassergehalt) intérieur de la tige à un niveau particulier“.

Zahlenmäßige Daten über die Beeinflussung der Transpiration durch die Lentizellen wurden von G. Haberlandt (im Juni) und von Klebahn (im Januar) gewonnen. An Zweigstücken verschiedener Holzpflanzen wurden nach Verschluss der Schnittflächen die Lentizellen mit dickflüssigem Asphaltlack (Haberlandt) oder mit Wachs (Klebahn) verklebt; an ebenso großen Versuchszweigen wurden die Asphalttröpfchen resp. die Wachströpfchen in gleicher Zahl und Größe zwischen den Lentizellen angebracht. Übereinstimmend zeigten die Zweigstücke mit freien Lentizellen einen größeren Wasserverlust als die mit verklebten Rindenporen und es war der relative Einfluß der Lentizellen auf die Transpiration bei den Versuchen Klebahns im Juni fast derselbe wie bei Haberlandt im Januar, woraus sich wieder die Permeabilität dieser Organe während der Winterruhe ergibt. Nach Haberlandt betrug die Wasserabgabe Periderm-besitzender älterer Zweigstücke von *Sambucus nigra*, *Trianodendron caspicum* und *Morus alba* a) mit offenen, b) mit verschlossenen Lentizellen in Gramm (auf eine Dezimale gekürzt) nach:

	Sambucus		Trianodendron		Morus	
	a	b	a	b	a	b
5 Tagen:	10,6	7,7	5,4	3,6	9,8	9,3
10 „	19,7	15,9	11,1	7,7	19,8	17,5
15 „	28,0	23,7	16,4	12,2	27,8	24,6

Nach Klebahn betrug die Verdunstung von Zweigstücken a) mit verklebten Lentizellen, b) mit offenen Lentizellen (Verklebung entsprechend großer Rindenpartien) in Prozenten des Zweiggewichtes

		Sambucus		Morus alba	
		a	b	a	b
überhaupt ohne Verklebung	(1. Tag)	1,37	1,28	0,8	0,9
nach der Verklebung	(2. Tag)	60	80	56	85
„ „ „	(3. Tag)	68	100	46	80

Die von Haberlandt in der zitierten Arbeit und auch in der I. Aufl. seiner physiologischen Pflanzenanatomie ausgesprochene (von mir in Mat. II kritisierte) Ansicht, daß die Lentizellen an peridermbesitzenden Zweigen die Wasserverdunstung lokal erhöhen, an grünen, peridermfreien Organen aber lokal vermindern, die Rindenporen somit „Regulatoren der Transpiration“ sind, hat der Autor in die II. Aufl. seines Handbuchs nicht mehr aufgenommen.

### VIII. Blüten, Früchte, Samen, Knollen.

Über den Gang der Transpiration von Blütenknospen während ihrer Entfaltung liegen Beobachtungen von Curtel (272) vor. Abgeschnittene, langstielige Blütenknospen wurden mit dem Stengelende in mit Wasser gefüllte Fläschchen gebracht und deren Mündung luftdicht verschlossen. Die Objekte standen im diffusen Licht, die Transpiration wurde durch direkte Wägung ermittelt. Übereinstimmend ergab sich: die Transpiration ist bei der sehr jungen Knospe eine intensive; sie vermindert sich dann, um bei weiterer Entwicklung der Knospe bis zur Blütenentfaltung zu steigen; dieser erhöhte Wasserverlust hält bis zum Tode der Blüte an. So betrug beispielsweise der Gewichtsverlust, reduziert auf ein Gramm des Lebendgewichtes der Knospe, bei *Galtonia candicans*: Sehr junge Blütenknospe 124, etwas ältere 70, noch größer geworden 36, sehr groß 81, entfaltet 112 mgr. Bei *Fuchsia coccinea* beziehungsweise 38, 14, 11, 14, 19 mgr. Dieses Resultat kann ich mir in folgender Weise erklären: die sehr junge Knospe transpiriert stark infolge hoher Wärmeentwicklung durch Atmung; zu dem relativ großen Gewichtsverluste trägt auch die ausgeatmete Kohlensäure bei. Später vermindern sich Atmungsenergie und Wärmebildung, die Transpiration sinkt. Mit der Evolution des Perianthes steigt infolge Oberflächenvergrößerung auch die Wasserabgabe und die expandierte Blüte zeigt dann ein zweites (kleineres) Transpirationsmaximum.

Daß mit Erhöhung der Eigenwärme der Blüten eine bedeutende Transpirationssteigerung derselben verbunden sein kann, ergaben Versuche von Kraus (221) mit Aroiden, nach denen ein warm gewordener (mit dem Stiel im Wasser befindlicher) Spadix von *Arum italicum* während einer Nacht etwa dreimal soviel Wasser (und  $\text{CO}_2$ ) verlor als ein nicht erwärmter. Denn während die von noch nicht aufgeblühten oder von schon abgeblühten Kolben abgegebene Wassermenge etwa ein Drittel des Kolbenvolums betrug, war die Gesamttranspiration der erwärmten Keule etwas größer als das Gewicht dieser selbst. Auch bei *Arum maculatum* überstieg in der Erwärmungsnacht das Gewicht des transpirierten Wassers das Gewicht des Kolbens, woraus folgt, daß der Kolben allein das verbrauchte Wasser zu liefern nicht imstande ist. Messungen ergaben, daß die warme Keule mehr Wasser aufnimmt als durch Transpiration abgibt. — Ich füge noch bei, daß bereits *Arca ngeli*

(Nuovo Giorn. Bot. Ital. tom. XV. 1883, S. 92) aus anderweitigen Experimenten geschlossen hat, daß bei den Kolben von *Arum italicum* „la traspirazione che si effettua in detto organo nel periodo del parossismo sia molto grande“; er schätzt sie auf  $\frac{7}{8}$  des Keulenfrischgewichtes, welcher Wert mit dem von Kraus gefundenen ziemlich übereinstimmt.

Über die relative Transpirationsgröße der Blüten und Laubblätter derselben Pflanze besitzen wir interessante Beobachtungen von Wiesner (195). Nach diesem Forscher transpirieren bei der Mehrzahl der Pflanzen die Blüten viel schwächer als das Laub und welken daher am abgelösten Sproß später als dieses. Schneidet man z. B. einen turgeszenten, mit Blüten besetzten Sproß von *Anagallis arvensis* ab und setzt ihn der Sonne aus, so sind nach 2—3 Stunden die Blätter welk, die Blüten noch vollkommen frisch. Bei diesen Pflanzen welken auch isolierte Blüten später als solche, die am abgeschnittenen Laubsproß belassen werden; so bleiben abgetrennte Blüten von *Anagallis*, *Helianthemum vulgare* u. a. länger frisch als solche, die am laubtragenden Sproß bleiben. Von vornherein sollte man das Gegenteil erwarten, nämlich, daß am belaubten Sproß stehende Blüten länger frisch bleiben müßten, da sie sich von den Blättern her mit Wasser versorgen können. Das Experiment lehrt aber, daß am Laubsproß stehende Blüten deshalb früher welken als isolierte, weil die stärker transpirierenden Blätter den Blüten Wasser entziehen. Schließt man nämlich die Transpiration des Laubes aus, so erhalten sich die am Laubsproß befindlichen Blüten so lange frisch wie abgelöste. Es gibt aber auch, wie Wiesner fand, Pflanzen, bei denen an abgeschnittenen Sprossen die Blüten gleichzeitig mit dem Laub, ja sogar noch früher welken als dieses. Es sind dies Pflanzen, deren Blüten entweder relativ stark transpirieren z. B. *Lupinus albus*, oder deren Blätter im Vergleich zu den Blüten eine sehr geringe Wasserverdunstung haben, wie *Sedum Fabaria* und wohl die meisten Sukkulente.

Untergetaucht gewesene Blüten verhalten sich im wesentlichen wie untergetaucht gewesene Blätter; es herrscht aber ein auffälliger, gradueller Unterschied zwischen beiden, so zwar, daß die meisten Blüten nach mehrstündiger Submersion ihre volle Frische an der Luft behalten, manche, wie *Lycium barbarum*, *Centaurea Cyanus*, *Aster novi Belgii*, *Zinnia elegans* infolge sekundärer Umstände sich noch länger als unbenetzt gebliebene Blüten turgeszent erhalten. Es gibt endlich Blüten, die nach vorausgegangener, längerer Benetzung

früher welken als unbenetzt gebliebene, wie solche von *Helianthus annuus*, *Lamium purpureum* und *maculatum*, *Antirrhinum maius* u. a.

Schon Guettard fand, daß Blüten weniger transpirieren als Laubblätter derselben Pflanze. So hauchten — auf gleiches Gewicht umgerechnet — die Blätter des Stechapfels etwa 7 mal, die Blätter einer *Spiraea* („à feuilles crenelées“) etwa 4 mal soviel Wasser aus als die zugehörigen Blüten. Auch Senebier gibt an, daß Blüten viel weniger als Blätter (gleichen Gewichtes) transpirieren. Neuffer, der den 24 stündigen Wasserverlust abgeschnittener und welkender Laub- und Blumenblätter verschiedener Pflanzen (*Helianthus*, *Oenothera*, *Alcea*, *Mirabilis*) ermittelte, kam zu keinem befriedigenden Resultate, indem einmal die Laubblätter, ein andermal die Perianthblätter mehr Wasser abgaben.

Über die Wasserabgabe von Früchten und Samen liegen nur vereinzelte Angaben vor. Schon Hales konstatierte die langsame Wasserabgabe eines Apfels, Guettard die von Weintrauben und Kürbissen. In den Versuchen von Sorauer (179) mit Winter-Goldparmänen verdunsteten die mit Stiel versehenen Exemplare mehr als die ungestielten; die unreifen (grünen) mehr als die reifen, jene mit wachsarmer Oberhaut mehr als solche mit dickerer Wachsschicht. Nach Beobachtungen von G. Haberlandt (Pflanzenanatomie p. 26) verlor in 24 Stunden ein ungeschälter Apfel 0,12 g, ein geschälter aber 1,80 g an Gewicht pro qdm Oberfläche. Auch Eder prüfte die Gewichtsabnahme geschälter und ungeschälter Äpfel und fand u. a., daß die Lentizellen einen merklichen Einfluß auf die Transpiration ausüben. Boussingault (147) verglich den Wasserverlust geschälter mit jenem ungeschälter Pflaumen. Wenig Wert haben die Versuche von Nägeli (62) mit neun Äpfeln, von denen nach und nach sechs verfaulten; jene von Knop (68) mit einer Birne und einer Weintraube wegen der kurzen Beobachtungszeit (10 resp. 20 Minuten). Über die Transpirationsversuche von Just mit bratenden Äpfeln vgl. Kap. XIII.

In einer größeren Abhandlung zeigte Alex. Müller, wie verschieden rasch Getreidesamen ihren Wassergehalt verlieren und zwar in aufsteigender Reihe: Gerste, Weizen, Roggen, Hafer. Ferner: Je größer der Wassergehalt des Getreides ist, um so größer ist der Wasserverlust in der Zeiteinheit und je mehr sich die Trocknung dem wasserfreien Zustande nähert, um so langsamer schreitet sie vor. — Nach Coupin verloren frische *Phaseolus*-Samen in einem angeblich mit Wasserdampf gesättigten Raum in 124 Stunden 3,13 g an Gewicht pro 100 Samen. Wurden jedoch die Samen vorher durch heißen Wasserdampf oder durch Chloroformierung getötet, so gaben sie unter denselben Umständen eine viel größere Wassermenge

ab. Im Lichte erfolgte eine raschere Wasserabgabe als im Dunkeln; das „Dessikationsmaximum“ war im ersten Falle nach 312 Stunden, in letzterem erst nach 476 Stunden erreicht. Coupin's Versuche scheinen nicht mit der nötigen Vorsicht gemacht worden zu sein; so mußte der erstgenannte Versuch nach 124 Stunden deshalb unterbrochen werden, weil die Samen sich bereits anschickten zu keimen. Thermometer- und Psychrometerangaben fehlen.

Die bisherigen Beobachtungen über die Wasserabgabe unterirdischer Stammgebilde beziehen sich fast ausschließlich auf Kartoffelknollen. In den umfangreichen Eder'schen Versuchen verloren von Mitte Januar bis Mitte Mai geschälte Kartoffeln anfangs mehr als das Hundertfache von dem gleichzeitigen Gewichtsverlust ungeschälter Kartoffeln; bald aber wurde der Verlust der ersteren geringer und schließlich verloren geschälte und ungeschälte gleich viel. (Die überaus zahlreichen, diesbezüglich vom Autor veröffentlichten Gewichte der Kartoffeln werden bis auf Zehntel von Milligramm (!) angegeben.) Eder hat folgende Erklärung: da geschälte Kartoffeln rasch viel Wasser verlieren, die Wasserabgabe eines Körpers aber im Verhältnis zu seinem Wassergehalte steht, mußten die geschälten Knollen schließlich ebensowenig oder noch weniger Wasser abgeben als die ungeschälten. Es kommt aber meines Erachtens noch ein anderer Umstand hinzu. Werden Kartoffeln dünn geschält, also nur totes Periderm entfernt, so vertrocknet das jetzt frei liegende, von Wiesner so genannte Saftperiderm zu einer zähen Haut, welche die Verdunstung wesentlich herabsetzt. Nach stärkerer Abschälung bildet sich eine rissige Kruste und die Knollen werden endlich ganz hart. Schleh (108) bestimmte die ein-, zwei-, dreitägige Verdunstungsgröße von sechs Kartoffeln verschiedener Größe, deren Knospen mit Talk verschmiert waren. Die dreitägige Wasserabgabe betrug 0,31—0,88 Gramm pro 100 g Knollen-Lebendgewicht. Über die Beobachtungen von Wiesner und von Poljanec, betreffend die Wasserabgabe von Kartoffeln siehe S. 76.

Nägeli (62) fand Kartoffeln bei frostfreier Aufbewahrung in ca. 400 Tagen lufttrocken. Knop (68) konnte bei Kartoffeln innerhalb 20 Minuten keine Gewichtsverminderung konstatieren.

Van Tieghem und Bonnier (182) ermittelten den Gewichtsverlust der Knollen von *Ullucus tuberosus*, *Oxalis erenata*, *Solanum tuberosum*, ferner den von Tulpen- und von Hyazinthenzwiebeln während der Ruheperiode.

## IX. Kryptogamen.

Viele Versuche stellten Bonnier und Mangin (196, 205) mit lebenden, mit dem Myzel verbundenen Fruchtkörpern von *Polyporus versicolor*, *Trametes suaveolens*, *Agaricus conchatus*, *campestris* u. a. an. Unter sonst gleichen Bedingungen wurde die Transpiration durch Erhöhung der Lufttemperatur und Lufttrockenheit gesteigert; sie war im diffusen Lichte stärker als im dunkeln; junge Individuen verloren mehr Wasser als alte derselben Art. Henslow (240) exponierte Pilze (*Boletus*?), die in kleinen, hermetisch verschlossenen Töpfen eingesetzt waren, Lichtstrahlen verschiedener Brechbarkeit und fand bezüglich der Transpiration dieselben Gesetze, die er (übereinstimmend mit Wiesner und Comes) bei chlorophyllhaltigen Gewächsen beobachtet hatte. Die stärkste Wasserabgabe erfolgte nämlich in violettem und in rotem, die schwächste in gelbem Lichte. Erhöhung der Lufttemperatur steigerte die Transpiration im Licht und im Dunkel. Knop (68) bestimmte die 1—24stündige Wasserabgabe an *Boletus* sp., *Agaricus* sp., *Ramalina fraxinea*.

Über die Transpiration von Moosen besitzen wir Beobachtungen von G. Haberlandt (228). Ein 5 cm hohes Stämmchen von *Mnium undulatum*, mit der Schnittfläche in einem mit Wasser gefüllten Gläschen stehend, verlor in 24 Stunden (Temp. ca. 24°, r. R. 90 Proz.) durchschnittlich (Mittel aus 5 Versuchen) etwa das Doppelte, ein 6 cm langes Stämmchen von *Polytrichum juniperinum* etwa das Dreifache des Frischgewichtes. Bei günstigeren Transpirationsbedingungen (Exposition auf einem schattigen Rasen im botanischen Garten, r. F. 67—70 Proz.) war die Verdunstung noch größer. Der Autor kommt daher zu dem Schlusse, daß die genannten Moose selbst bei jener beträchtlichen Luftfeuchtigkeit, welche ausreicht, um die Stämmchen und Blätter frisch zu erhalten, „eine verhältnismäßig sehr ausgiebige“ Transpiration besitzen. An der Richtigkeit der Beobachtungen Haberlandt's ist nicht zu zweifeln; ebenso wenig aber auch daran, daß diese und andere Moose an ihrem natürlichen Standorte infolge des geselligen Vorkommens und dichten Standes der Pflänzchen individuell weniger Wasser abgeben werden als im Solozustande. Mit verschiedenen Moosen (*Mnium*, *Polytrichum*, *Hylocomium*, *Dicranum*, *Hypnum*, *Sphagnum*) experimentierte auch Oltmanns; er benützte einzelne Individuen, die mit dem unteren Teile sich in mit Wasser gefüllten Glasröhrchen



befanden, als auch Moosrasen in kleinen, quadratischen Kästchen. Der Autor verglich ferner die Wasserabgabe toter Moose mit der lebender. Die Versuche, von denen ein Teil (oder alle?) in einem Keller bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 94—96 Proz. vorgenommen wurde, haben nach Haberlandt und auch meinem Dafürhalten nicht viel Wert, weshalb ich auf dieselben nicht weiter eingehe. — Über die Versuche von Woods (286) mit ätherisierten Mnium-Rasen siehe im XVII. Kap.

Neuffer bestimmte die Wasserabgabe abgeschnittener, freiliegender Sprosse von *Equisetum hiemale* und *Polypodium cambricum*. Über Goebeler's Transpirationsversuche mit Stammscheiteln von *Polypodium aureum* siehe im Kap.: „Schutzeinrichtungen“.

---

## X. Einfluß des Lichtes im allgemeinen.

---

Schon Hales hatte die Beobachtung gemacht, daß seine Versuchspflanzen bei Tage einen beträchtlichen Gewichtsverlust erfuhren, während der Nacht hingegen nur wenig Wasser verloren, bei Taubildung sogar eine Gewichtszunahme zeigten. Dieses Ergebnis führte Guettard auf den Gedanken, zu untersuchen, ob nicht die Wirkung der Sonne den so auffallenden Unterschied zwischen der Tages- und Nachtverdunstung hervorrufe. Zu diesem Zwecke verschloß er je einen beblätterten Zweig, ohne denselben von der Stammpflanze abzutrennen, in einen Glaskolben (vgl. Fig. 3). Der eine Kolben (a) wurde dem direkten Sonnenlichte ausgesetzt; der zweite (b) stand im Schatten eines von vier Pfählen getragenen Tuches; der dritte (c) wurde mit einem Tuche vollständig umhüllt. Die Menge des transpirierten, kondensierten, aus den Glaskolben abgezapften Wassers ergab nach Umrechnung auf gleiches Lebendgewicht der Zweige resp. der Blätter das Verhältnis (a : b : c) für „*Dulcamara*“ gleich 13 : 4 : 2, für „*Hyssopus*“ gleich 24 : 16 <sup>1</sup>/<sub>2</sub> : 1. Wenn man bedenkt, daß sich bei den Guettard'schen Versuchen die Sprosse 6—11 Tage ununterbrochen in den Ballons befanden, somit wiederholten Schwankungen der Beleuchtungsstärke, Temperatur und Luftfeuchtigkeit ausgesetzt waren, so ergibt sich, daß Guettard nur mit Wahrscheinlichkeit, keineswegs aber bedingungslos schließen konnte, daß die

Steigerung der Transpiration während des Tages eine Wirkung des Lichtes sei.

In seiner „Physiologie végétale“ teilt Senebier auch Versuche mit, die er (nach Guettard's Methode) ausgeführt hat, um den Einfluß des Lichtes auf die Größe der Wasseraufnahme und Wasserabgabe kennen zu lernen. Von einem Himbeerzweig wurde das untere Stengelende in ein Gefäß mit Wasser eingestellt, das Laub in einen „Glauber'schen Rezipienten“ eingeschlossen, dessen unteres Ende in einen „flacon luté“ mündete, in welchem sich das Kondensationswasser sammelte. Die Ablesungen ergaben:

	Sonnenlicht		Finsternis	
	aufgenommen (Wasser)	abgegeben	aufgenommen (Wasser)	abgegeben
am 1. Tage:	47,00	6,37	9,38	0
am 2. Tage:	32,48	6,18	11,89	0

Aus der Art der Versuchsanstellung erklärt sich der hohe Exponent des Verhältnisses zwischen dem „eau tirée“ und dem „eau rendu“.

Seit Unger wurden von vielen Autoren zahlreiche Beobachtungen über den Einfluß des Lichtes auf die Transpiration gemacht, deren Ergebnis sich in folgende zwei Sätze zusammenfassen läßt: 1. *Ceteris paribus* transpiriert die Pflanze im Lichte mehr als bei Abschluß desselben; 2. die Transpiration steigert sich mit der Zunahme der Lichtintensität. In Anwendung brachten: a) die Methode der direkten Wägung: Knop (56), Unger (64), Risler, Baranetzki (94), Th. Hartig (124, 152), Wiesner (127), Detmer (129), Boussingault (147), Th. Hartig (124, 152), Anders, Comes (149, 165, 172), Sorauer (178), Nobbe (186), Bonnier und Mangin (196, 205), Leclerc (200, 210), Henslow (229), G. Haberlandt (275), Stahl (293), Woods (306), Giltay (347). — b) Die Bestimmung des kondensierten Wassers: Méese, Dehérain (79), Risler, Twitschel. — c) Die Gewichtszunahme hygroskopischer Substanzen: Daubeny, Barthélemy (101), Bonnier (205), Aloï (263). — d) Die Kobaltmethode: Stahl (293), Ferruzza. — e) Die Substituierung der Größe der Wasseraufnahme: Miquel, Eder, Kohl, Curtel (253). Von diesen vielen Experimenten lassen manche Manches zu wünschen übrig, wie z. B. jene von Miquel Eder, Twitschel, Schirmer; letzterer fand bei *Coleus*-Topfpflanzen im Finsternen, trotz Temperaturerniedrigung, einen größeren Gewichtsverlust als im Lichte, was er sich dadurch erklärt, daß zu dem Gewichtsverluste der

Pflanze im Finstern die ausgeatmete Kohlensäure beiträgt. Andere Untersuchungen sind hingegen korrekt ausgeführt und von diesen seien hier einige Resultate, zu denen Wiesner, Detmer und Aloï kamen, wiedergegeben.

Wiesner stellte je drei Maispflänzchen: a) im Finstern, b) im Gaslichte (Leuchtkraft  $6\frac{1}{2}$  Walratkerzen), c) im hellen diffusen Tageslichte, d) im Sonnenlichte auf. Bei fast gleicher Temperatur ( $24,3-25,8^{\circ}$  C) und relat. Luftfeuchtigkeit (66—68 Proz.) betrug der stationäre Transpirationswert pro Stunde in Milligramm: a = 17, b = 23, c = 66, d = 192.

Bei den Versuchen von Detmer (129) wurden Topfpflanzen von Cucurbita Melopepo und Zweige von Aesculus, entsprechend adjustiert, durch je eine halbe Stunde vor ein verdunkeltes (D) und ein nicht verdunkeltes (L) Fenster eines durch diffuses Tageslicht beleuchteten Zimmers aufgestellt. Die Transpiration betrug bei konstanter Temperatur und Feuchtigkeit (Thermom.  $20,8^{\circ}$ , Psychr.  $17,2-17,4^{\circ}$ ) bei Cucurbita: D = 68, L = 97, D = 70, L = 95, D = 66, L = 74 cg.

Aloï (263) verschloß einzelne Blätter von Topfpflanzen (ohne Abtrennung) in Glasröhren, die eine gewogene Menge von Chlorcalcium enthielten. Bei anderen Versuchsreihen wurden ganze Topfpflanzen (mit luftdicht verschlossenem Topfe) verwendet. In letzterem Falle betrug die evaporirte Wassermenge in mg pro 100 qcm Oberfläche. (Die eingeklammerten Zahlen geben die Lufttemperatur an):

	Dunkel		diffus. Licht		direkte Sonne	
Achyranthes Lindeni	80	(20)	150	(20,5)	350	(35)
Iris florentina	95	(15)	113	(15,5)	2119	(36)
Lilium dahuricum	364	(19,3)	452	(20)	1369	(30)

Vergleichbar sind hier eigentlich nur die bei Abschluß des Lichtes und bei diffuser Beleuchtung erhaltenen Zahlen, da sich bei direkter Bestrahlung auch die Temperatur bedeutend erhöhte.

Wie verschieden die erhaltenen Resultate bisweilen waren, zeigt folgendes Beispiel: Nach Beobachtungen von Stahl (293) war die Transpiration einer Ficus-Topfpflanze in der Sonne 102 mal stärker als an der Hinterwand eines nach Norden gerichteten Zimmers; nach G. Haberlandt (275) war die Wasserabgabe eines Ficus-Blattes (in Buitenzorg) in einer „sonnigen Vormittagsstunde“ bloß 12 mal größer als in einer Nachmittags-Nachtstunde.

Die im Jahre 1881 in Paris stattgefundene elektrische Ausstellung benützte Dehérain (183), um Versuche über den Einfluß des (damals in der Praxis noch wenig bekannten) elektrischen Lichtes

auf verschiedene Erscheinungen des Pflanzenlebens, unter anderem auch auf die Transpiration kennen zu lernen. Ein in einer Glasröhre eingeschlossenes Maisblatt, dem Lichte einer elektrischen Bogenlampe ausgesetzt, gab pro Stunde und 100 g Blattgewicht 2,2 g Wasser ab; ein anderes Blatt 2,5 g. In der Sonne hätten nach früheren Erfahrungen des Autors die Blätter fünfmal mehr Wasser abgegeben. Es ist daher evident, sagt Dehérain, daß die von einem elektrischen Bogenlichte ausgehenden Lichtstrahlen eine sehr schwache Transpiration hervorrufen. Eine Nachuntersuchung wäre angezeigt.

In seinem Buche „Versuch über die Wirkungen des Lichtes auf die Gewächse“ (Breslau 1820) gibt Glocker an, daß nach den Versuchen von Méese die Ausdünstung durch das Mondlicht befördert wird. Diese Angabe ist nicht genau. Méese verschloß Blätter von *Valeriana Phu* in zwei Glasröhren, die er, und zwar die eine frei, die andere mit einem Karton verdeckt, dem Mondlichte aussetzte. Nach einigen Stunden zeigte sich in beiden Röhren eine ziemlich große Feuchtigkeitsmenge. — Wilson's Behauptung (zitiert von Unger *Exantheme* p. 58) „daß der Mond zwischen den Wendekreisen einen bedeutenden Einfluß auf die Ausdünstung der Gewächse habe“ dürfte wohl manchem Physiologen wunderlich erscheinen.

Über den Gang der Transpiration beim Wechsel der Beleuchtung hat sich zuerst Baranetzki ausgesprochen: „Wechselt man die Beleuchtung in gewissen Perioden, indem man aber die Transpiration für jede Hälfte der Periode bestimmt, so zeigt sich, daß am Lichte die zuerst stärkere Transpiration später sinkt; die verdunkelte Pflanze dagegen transpiriert in der ersten Zeit weniger als nachher.“ Dann aber heißt es weiter: „Wechselt man die Beleuchtung mehreremale in kurzen Perioden, so findet man gewöhnlich, daß die Unterschiede in der Transpiration immer kleiner werden und zuletzt vollständig aufhören. Setzt man die Experimente in derselben Weise fort, so treten dann gewöhnlich unregelmäßige Schwankungen ein, bei denen manchmal im Finsternen mehr als im Lichte transpiriert wird.“ Ich habe diese Sätze wörtlich angeführt, damit der Leser ihren Wert beurteilen könne. Der Autor nennt in seiner Abhandlung weder eine Pflanze, noch erfährt man etwas darüber, wie die Experimente gemacht wurden. In der Erzählung der Resultate spricht er von „gewissen“ und von „kurzen“ Perioden, von der Transpirationsgröße „zuerst“, „später“ und „zuletzt“, davon, daß Verschiedenes „gewöhnlich“ eintritt u. s. f. — Keinesfalls ist es wegen der sich geltend machenden Nachwirkungen empfehlenswert, Belichtung und Verdunklung in kurzen Zwischenräumen zu wechseln.

Unbegreiflich ist, wie Baranetzky sagen kann: „Jedenfalls scheint dieser Zustand (größere Wasserabgabe im Finstern) mit dem Alter der Blätter in erster Linie zu-

sammenzuhängen, da er in derselben Abhandlung den Beweis liefert, daß es nicht der Fall ist. Merkwürdig ist, daß sich Blätter, die „schon ganz entwickelt“ aber „noch nicht ausgewachsen“ waren, gegen Licht unempfindlich zeigten.

Barthelemy (102) beobachtete, daß eine Pflanze (*Solanum bracteatum*) nach mehrstündiger Sonnenexposition in den Schatten gestellt, anfangs noch stark transpiriert, und bei Verminderung der Wasserabgabe allmählich auf ihr „regime“ kommt.

Eingehend beschäftigte sich Wiesner (127) mit dem Studium der Nachwirkung des Lichtes auf die Transpiration. Eine in Wasserkultur gehaltene *Hartwegia comosa* stand 12 Stunden im Finstern und wurde dann dem Lichte einer Gasflamme ausgesetzt. Die durch Wägung ermittelte Wasserabgabe betrug nach Ablauf je einer Stunde: 59, 48, 44, 42, 42, 42, 42 mg. Nach achtzehnstündigem Verweilen im Lichte wieder ins Dunkle gebracht, betrug der Gewichtsverlust nach je einer Stunde: 31, 30, 29, 29, 29, 29 mg. Drei Maispflänzchen, entsprechend adjustiert, kamen nach zwölfstündigem Verweilen im Finstern ins Licht. Dann ergaben sich nach je 30 Minuten folgende Wasserverluste: 36, 31, 28, 26, 25, 25, 25 mg. Drei andere Maispflanzen (im Transpirationsapparat) wurden nach vierstündigem Verweilen im finstern dem Sonnenlichte ausgesetzt. Die Transpiration betrug nach je 30 Minuten: 335, 245, 186, 157, 156, 156, 156 mg; dann in helles, diffuses Licht gestellt, 44, 41, 40, 40 mg. Die Pflanzen standen bei möglicher Konstanz der Lufttemperatur, des Dunstdruckes und der relativen Luftfeuchtigkeit. Die Ergebnisse faßt Wiesner wie folgt, zusammen: Eine aus dem Finstern ins Licht gebrachte Pflanze zeigt anfänglich eine stärkere Transpiration als später bei sonst gleich bleibenden äußeren Bedingungen; die transpirierte Wassermenge nimmt hierauf ab und erreicht schließlich einen stationären Wert. Eine aus dem Lichte ins Dunkle gebrachte Pflanze gibt anfangs größere Transpirationswerte als später; auch hier stellt sich ein stationärer Wert, und zwar im allgemeinen früher ein, als wenn die Pflanze aus dem Hellen ins Dunkle gebracht wurde. Wird eine Pflanze aus einer bestimmten Helligkeit in eine größere gebracht, so verhält sie sich ähnlich, wie eine aus dem Finstern ins Licht gestellte und umgekehrt, nur sind natürlich die Werte für die Abnahme der in bestimmten Zeitabschnitten erfolgenden Transpiration andere als beim Wechsel von Licht und Dunkel und umgekehrt.

Angeregt, aber nicht befriedigt durch Wiesner's Versuche hat es Kohl unternommen, die Lichtwirkung auf die Transpiration nach einer „weit empfindlicheren Methode“ kennen zu lernen, nämlich

durch Messung der vom Wurzelkörper aufgenommenen Wassermenge. Zu diesen Prüfungen diente der in Fig. 4 abgebildete Apparat, ein „sozusagen verbesserter Sachs'scher Transpirationsapparat“. Verwendung fanden bewurzelte Pflanzen von *Nicotiana Tabacum* und *Chrysanthemum Aster*. Tabellarisch ist die in Sekunden ausgedrückte Zeit verzeichnet, die zur „Verdunstung“ (recte Absorption) einer 5 mm langen Wassersäule im Kapillarrohr nötig war. „Meine Versuche — sagt Kohl — bestätigen vollkommen die Wiesner'sche Beobachtung beim Übergang aus Hell in Dunkel, indem in ihnen ebenfalls die Transpirationswerte direkt nach dem Wechsel der Beleuchtung größer sind als später, aber es machte sich in meinen Versuchen beim Übergang aus Dunkel in Hell eine Nachwirkung geltend, die Wiesner verborgen bleiben konnte oder mußte, weil er bei der Wägungsmethode nur die innerhalb längerer Zeiträume eintretenden Transpirationsdifferenzen zu bestimmen in der Lage war.“ Ich muß wohl Koch beipflichten, daß die unmittelbare Nachwirkung des Lichtes Wiesner verborgen bleiben konnte, aber nicht deshalb, weil bei der Wägungsmethode die Transpirationswerte nur innerhalb längerer Zeiträume bestimmbar sind, denn Wiesner hätte statt nach je 30 Minuten schon nach je 5 Minuten wägen können, sondern deshalb, weil die Zeitintervalle von einer halben oder gar einer vollen Stunde bei Wiesner's Versuchen für die Lösung dieser Frage auch nach meiner Ansicht zu groß waren.

In seiner „Flora der ägyptisch-arabischen Wüste“ kommt Volkens auch auf die Wiesner-Kohl'schen Versuche zu sprechen, und sagt: „Weiter zieht Kohl seine (i. e. Wiesner's) Versuchsergebnisse bezüglich der Transpirationsgröße in Hell und Dunkel heran. Mit Recht verwirft er (Kohl) die ganz unzulänglichen Experimente und Erklärungen Wiesner's, kommt aber doch zu gleichem Resultate, indem er behauptet, das Licht vermöge die Verdunstung zu steigern.“ Es ist eine Ungerechtigkeit von Volkens, von ganz unzulänglichen Experimenten seitens Wiesner zu sprechen. Denn wenn auch Kohl rücksichtlich der Wiesner'schen Versuche über die Nachwirkung des Lichtes manches in methodischer Beziehung einwendet, so sagt er andererseits: „Lassen uns die genannten (i. e. vor Wiesner gemachten) Arbeiten bei Beantwortung der Frage nach der Wirkung des Lichtes auf die Transpiration zum großen Teil im Stich, so habe ich nun einer Arbeit von Wiesner Erwähnung zu tun, durch die zum erstenmal jene Frage mit auf exakten Versuchen basierenden Sätzen beantwortet wird.“ Es muß ferner tatsächlich berichtet werden, daß es sich Kohl nicht darum

gehandelt hat, zu ergründen, ob Licht die Verdunstung zu steigern vermöge, sondern vielmehr darum, Wiesner's Resultate betreffend die Änderung der Transpiration beim Übergang von Hell in Dunkel und umgekehrt experimentell zu prüfen.

Kohl's Methode (Benützung seines Apparates) mag vielleicht „empfindlicher“ sein als die Methode der direkten Wägung Wiesner's; keinesfalls ist sie exakter; denn um präzise Resultate zu erhalten, ist es nicht erlaubt, das von den Wurzeln aufgenommene Wasserquantum für die Wasserabgabe der transpirierenden Teile zu substituieren.

Die Versuche, welche Eberdt mittels des Kohl'schen „Transpirationsapparates“ durchgeführt hat, ergaben (bei *Mercurialis perennis*, *Asclepias Cornuti* und *A. incarnata*) bezüglich des Überganges von Licht in Dunkel mit Wiesner übereinstimmende Resultate; dagegen konnte Eberdt die Befunde Wiesner's nach Übertragung der Pflanze aus dem Finstern ins Licht nicht bestätigen, ebenso auch nicht die Beobachtung von Kohl, der nach der Belichtung einer vorher verfinsterten Pflanze noch eine Abnahme der Transpiration durch mehrere Werte hindurch beobachtet hat.

Für höhere Pilze (*Agaricus*, *Polyporus*, *Trametes*) fanden Bonnier und Mangin (205) in Übereinstimmung mit Wiesner nach dem Verdunkeln vorher belichteter Pflanzen anfangs größere Transpirationswerte als später, z. B. für *Trametes suaveolens* nach je 15 Minuten: Licht 41, Dunkel 40, 39, 36, 36 Dezigramm.

Vergleicht man die gewonnenen Beobachtungen über den Einfluß des Lichtwechsels auf die Transpiration, so findet man, daß hinsichtlich des Überganges von Licht in Dunkel die Resultate von Wiesner, Kohl, Eberdt, Bonnier-Mangin im wesentlichen übereinstimmen: Die belichtet gewesene Pflanze transpiriert nach der Verdunklung anfangs stärker als später, und kommt so allmählich auf das der Verfinsterung (im Verein mit anderen Faktoren) entsprechende „Regime“. Verschieden dagegen sind die bisherigen Versuchsergebnisse bezüglich des Ganges der Transpiration nach Belichtung einer vorher dunkel gehaltenen Pflanze. Da auch Kohl und Eberdt de facto die Wasseraufnahme ermittelten, war es wünschenswert, die Frage durch erneuerte Versuche zu prüfen; einige habe ich in der hiesigen biologischen Versuchstation gemacht:

Kleine, gesunde Topfpflanzen wurden nach sorgfältigem Topfverschluß durch 24 Stunden in einer Dunkelkammer belassen und hierauf in einem Zimmer, dessen Temperatur und Luftfeuchtigkeit

mit jener der Dunkelkammer ziemlich übereinstimmte, an einem Nordfenster gleichmäßigem, hellem, diffusem Tageslicht ausgesetzt. Die nach genau je 10 Minuten erfolgten Wägungen der Topfpflanzen ergaben folgende Gewichtsverluste in Milligramm:

Ricinus	A: 32, 33, 45, 54, 44, 52, 50
„	B: 45, 50, 50, 55, 62, 59, 60
Cucurbita	A: 25, 25, 26, 30, 38, 47, 45, 45
„	B: 30, 29, 35, 38, 37, 40, 40, 40
Tropaeolum:	30, 40, 52, 58, 60, 48, 50, 50
Phaseolus:	30, 35, 35, 32, 38, 40, 39, 40

Es ergab sich somit, daß bei den genannten, aus Dunkelheit ins Licht gebrachten Pflanzen die Transpiration sich verstärkte und unter den gegebenen, dabei gleich bleibenden äußeren Bedingungen nach etwa einer Stunde einen fast stationären Wert erreichte. Meine aus dem Finstern ins Licht gestellten Pflanzen zeigten somit anfangs eine schwächere Transpiration als später.

Griffon prüfte, wie sich die Transpiration verhält, wenn einmal die Oberseite, ein andermal die Unterseite des Laubes stark beleuchtet wird. Bei der ersten Serie von Versuchen wurden zwei möglichst gleiche Topfpflanzen derselben Art so aufgestellt, daß bei beiden die obere Seite der Blätter beleuchtet war und die Wasserabgabe durch Wägung ermittelt. Hierauf wurde der eine Topf so umgedreht, daß jetzt die Unterseite vom Lichte getroffen wurde. In diesem Falle war der Gewichtsverlust kleiner; die Transpirationsgröße fiel von 100 auf 89 bei Musa, auf 85 bei Datura, auf 82 bei Coleus, auf 75 bei Acer. Dieselbe Erscheinung wurde bei einzelnen abgeschnittenen, nach Dehérain'scher Methode in Röhren eingeschlossenen Blättern beobachtet. In einer dritten Serie von Versuchen wurde gleichfalls mit einzelnen Blättern experimentiert, die jedoch im organischen Verband mit der Pflanze blieben. In diesem Falle war die Transpiration immer kleiner, wenn die Oberseite beleuchtet war; ihr Wert sank von 100 auf 75 bei Ampelopsis, auf 74 bei Laurocerasus, auf 69 bei Phytolacca. Griffon gibt auch eine Erklärung dafür, warum bei starker Beleuchtung bei ganzen Pflanzen und ebenso bei einzelnen isolierten Blättern die Wasserabgabe größer ist, wenn die Oberseite der Blätter dem Lichte zugekehrt ist, während sich einzelne (verschlossene) mit der Pflanze in Verbindung bleibende Blätter gerade umgekehrt verhalten. Doch leuchtet mir seine Erklärung der drei Fälle, die sich auf Annahmen der Wasserdurchlässigkeit der Epidermis und der Wasserleitungsfähigkeit des Pallisaden-



und Schwammparenchyms stützt, nicht ein, weshalb ich sie nicht reproduziere. Wohl möchte ich aber beifügen, daß ich schon vor dem Erscheinen der Abhandlung Griffon's einige derartige Versuche mit Topfpflanzen gemacht habe, deren Ergebnis mit dem (der ersten Serie) von Griffon übereinstimmt. Topfpflanzen mit horizontal stehenden Blattspreiten wurden nach sorgfältigem Topfverschluß je eine Stunde unter einen solchen Neigungswinkel aufgestellt, daß einmal die Oberseite, ein anderes Mal die Unterseite unter einem fast rechten Winkel von den Sonnenstrahlen getroffen wurde. In allen Fällen war der durch Wägung konstatierte Wasserverlust kleiner, wenn die Unterseite dem Lichte ausgesetzt war. Der Transpirationswert sank von 100 auf 95 bei *Ficus macrophylla*, auf 88 bei *Pelargonium*, auf 87 bei *Aucuba*, auf 86 bei *Tolmiea*. — Diese Depression dürfte sich aus der Abnahme der stomatären Transpiration erklären, indem wahrscheinlich bei direkter starker Insolation der Blattunterseite und gleichzeitig geringer oder mittlerer relativer Luftfeuchtigkeit sich die Spaltöffnungen infolge des Lichtreizes etwas verengen; wenigstens erhielt ich bei einem Versuch mit *Pelargonium*, welches in schwach diffusem Tageslicht (etwa 4 m von einem Nordfenster entfernt) stand, einen größeren Transpirationswert, wenn die Unterseiten der Blattspreiten dem einfallenden, die Oberseiten dem von der Mauer reflektierten Lichte zugekehrt waren, als in der umgekehrten Lage der Pflanze.

Während der Drucklegung des Manuskriptes erhielt ich Kenntnis von der gleichzeitig erschienenen umfangreichen Abhandlung von Hesselmann (392). Dieser Autor machte unter anderen zahlreiche vergleichende Bestimmungen über die Transpirationsgröße von an sonnigen und an schattigen Standorten entstandenen Blättern, teils mittels eines „Potometers“ teils durch direkte Wägungen von Topfpflanzen. Letztere wurden schon im Herbst eingetopft, dann überwintert und im Frühjahr teils auf einer sonnenoffenen Wiese, teils in einem dicht geschlossenen Haselstrauchhain aufgestellt; dort (Wiese) konnten sie das gesamte Tageslicht ausnützen, hier (Hain) betrug der (nach Wiesner's Methode bestimmte) Lichtgenuß um Mittag  $\frac{1}{60}$  bis  $\frac{1}{65}$ . Die Töpfe waren in Zinkgefäßen verschlossen, die Erde wurde gleichmäßig feucht erhalten; die Pflanzen hielten den ganzen Sommer über sich frisch.

Indem ich aus den zahlreichen, mit allen wünschenswerten Detailangaben versehenen Beobachtungen Hesselmann's nur einige Resultate herausgreife, war die Transpiration der Sonnenflanzen bezogen auf gleiche Blattspreitenfläche resp. [auf gleiches Trockengewicht]

größer als die der im Schatten stehenden Pflanzen: bei *Convallaria maialis* 3,2—8,3 mal [2,9—3,9 mal]; *Fragaria vesca* 2,5—7,8 [2,4—3,6]; *Geranium silvaticum* 6,0—8,5 [4,9—6,7]; *Geum rivale* 5,7—10,2 [3,1—5,6] *Luzula pilosa* 6,4—7,8 [5,2—6,2]; *Maianthemum bifolium* 4,5—5,2 [1,9—3,2]; *Spiraea ulmaria* 6,2—8,2 mal, [2,4—5,7 mal].

Im Zusammenhange mit diesen und anderen Untersuchungen machte Hesselmann zahlreiche Beobachtungen über den Einfluß des Lichtes auf die Ausbildung des Mesophylls. Die Studien dieses Autors können gegenüber den bisherigen Erfahrungen über diesen Gegenstand um so mehr Anspruch auf Exaktheit machen, als sie mit Anwendung der Wiesner'schen Lichtmessungsmethode gemacht wurden. Es zeigte sich, daß die Reaktion verschiedener Pflanzen gegen die Beleuchtungsstärke eine sehr ungleiche ist. Es gibt a) Arten, wie *Spiraea ulmaria*, *Geranium silvaticum*, *Fragaria vesca*, *Geum rivale*, *Veronica chamaedrys*, *Solidago virgaurea* etc., die auf sonnenoffenen Standorten lange und dichtgefügte, an schattigen Stellen kürzere und lockergefügte Pallisaden ausbilden, und b) solche Arten, wie *Convallaria maialis*, *Allium ursinum*, *Actaea spicata*, *Luzula pilosa*, *Maianthemum bifolium*, *Trientalis europaea* u. a., deren Sonnen- und Schattenblätter entweder keine oder nur wenige kurze, breite Pallisadenzellen haben, die also bei starkem und auch bei schwachem Lichtgenusse wesentlich denselben anatomischen Bau der Blätter zeigen.

Die von Hesselmann ermittelten, auf gleiche Blattfläche umgerechneten Verdunstungswerte ergaben, daß die Pflanzenarten mit gut ausgebildetem Pallisadenparenchym in der Sonne durchwegs mehr und oft bedeutend mehr transpiriert haben als jene Pflanzen, die keine solche Differenzierung des Mesophylls zeigen. Dies dürfte, bemerkt Hesselmann, einigermaßen unerwartet kommen, da das Pallisadenparenchym von mehreren Forschern oft als ein gegen zu starke Transpiration eingerichtetes Gewebe aufgefaßt wird. „Die hier experimentell erhaltenen Resultate sprechen entschieden gegen eine solche Deutung. Die Untersuchungen mittels Stahl's Kobaltprobe haben außerdem dieselben Ergebnisse geliefert. Die Auffassung des Pallisadenparenchyms als eines transpirationshemmenden Gewebes ist durch die Transpirationsversuche auf jeden Fall nicht bestätigt worden.“ Im Schatten waren die Transpirationswerte der Arten mit typischem und jener mit lockerem oder mit fehlendem Pallisadenparenchym klein und bei letzteren manchmal (*Dentaria Actaea*, Paris) größer als bei ersteren.

Bei Reduktion auf dasselbe Trockengewicht, waren im allgemeinen die Transpirationswerte der Pflanzen mit Pallisaden höher, die Unterschiede jedoch gering und fielen bisweilen zugunsten der Pflanzen:

mit lockerem Bau des Mesophylls aus. Hesselmann's Studien werden gewiß zu weiteren Untersuchungen in dieser Richtung anregen.

Im V. Kapitel wurde mitgeteilt, daß nach den Beobachtungen von Sachs, Pick, Dufour und mir die Blattspreiten an einem sonnigen Standorte größer werden als an einem schattigen, während nach Messungen von Stahl und von Johow Sonnenblätter eine kleinere Lamina entwickeln als Schattenblätter. Es kam nun — ich habe vergessen, dies dort beizufügen und trage es hier nach — beides der Fall sein. Denn von Einfluß auf die Blattgröße ist neben der, der Art und dem Individuum eigentümlichen Reaktionsfähigkeit gegen das Licht, der Grad der Lichtintensität und *ceteris paribus* der Grad der Luftfeuchtigkeit etc. Auf Grund der vergleichenden Studien Wiesner's (Sitzb. d. k. Akad. d. Wiss. Wien, CII. Bd. 1893 S. 291) muß angenommen werden, daß das Wachstum der meisten Blätter mit der Zunahme der chemischen Intensität des Lichtes nur bis zu einer bestimmten Grenze zunimmt, um mit weiter steigender Lichtstärke wieder abzunehmen, daß es aber auch Pflanzen gibt, deren Blattfläche mit abnehmender Lichtintensität an Größe zunimmt. Die Blattgröße wird bekanntlich auch von der Luftfeuchtigkeit beeinflusst. So hat Wiesner (l. c.) beispielsweise gefunden, daß die Primärblätter von *Phaseolus coccineus* bei 75 Proz. r. F. und einem täglichen Durchschnittsmaximum der Lichtintensität gleich 0,048 dieselbe Größe erreichten, wie bei 100 Proz. relativer Luftfeuchtigkeit und einer korrespondierenden Intensität gleich 0,001.

## XI. Einfluß von Lichtstrahlen bestimmter Brechbarkeit.

Ich komme auf den Einfluß zu sprechen, den Lichtstrahlen bestimmter Brechbarkeit auf die Transpiration der Pflanze ausüben. Nachdem Dehérain (79) durch schlechte Vorversuche zu dem „fait important“ gekommen war, daß „l'évaporation de l'eau par les feuilles se continue aussi bien dans une atmosphère saturée qu'à l'air libre“, fand er mit Anwendung der Kondensationsmethode, daß ein Kornblatt in der Sonne 100mal, ein Weizenblatt 168mal! mehr Wasser verlor als bei völligem Lichtabschluß, wobei der Temperaturunterschied der belichteten und der verdunkelten Pflanze nur 1—3° C betrug. Dehérain wollte nun untersuchen, ob zwischen Trans-

spiration und Kohlensäurezerlegung vielleicht eine „liaison“ bezüglich der Lichtausnutzung bestehe. Zu diesem Zwecke wurde je ein Kornblatt mittels eines gespaltenen Korkes in eine Glasröhre verschlossen; diese Röhren, von denen eine Serie (a) eine an  $\text{CO}_2$  reiche Luft enthielt, wurden dann in Glasgefäße eingesenkt, die mit gefärbten Flüssigkeiten gefüllt waren. Die so adjustierten Apparate setzte Dehérain dem Sonnenlichte aus und ermittelte bei der einen Serie (a) die Menge der zerlegten Kohlensäure, bei den Vergleichsblättern (b) die Menge des evaporierten und kondensierten Wassers. Die erhaltenen Werte betragen pro Stunde in der Lösung von

neutralem chromsaurem Kali	a) 7,7 ccm	b) 0,111 g
schwefelsaur. Kupferoxydammoniak	1,5 „	0,011 „
Jod in Schwefelkohlenstoff	0,3 „	0,001 „

Ein zweiter Versuch mit Maisblättern, bei dem dafür Sorge getragen wurde, daß die verwendeten Flüssigkeiten gleiche Helligkeit hatten, ergab (in der Sonne) an kondensiertem Transpirationswasser pro Stunde in Gramm: Oranggelb (Eisenchlorid) 60,6; rot (Karminammoniak) 51,0; blau (Kupferoxydammoniak-sulfat) 40,6, grün (Kupferchlorid) 33,3. Auf Grund dieser Ergebnisse und mit gleichzeitiger Rücksicht darauf, daß die gelben und roten Strahlen eine weitaus stärkere Kohlensäure zersetzende Kraft ausüben als die blauen und violetten (was auch ein mit *Potamogeton crispus* gemachter Versuch zeigte), kommt Dehérain zu folgenden Konklusionen: „L'évaporation de l'eau par les feuilles est déterminée par la lumière et non par la chaleur.“ — „Les rayons lumineux (jaune et rouge), efficace pour déterminer la décomposition de l'acide carbonique, sont aussi ceux, qui provoquent l'évaporation la plus abondante.“ — „Il est vraisemblable, qu'il existe entre les deux fonctions capitales des végétaux: l'évaporation et décomposition de l'acide carbonique une liaison, dont il reste à déterminer la nature.“

In einer zweiten Abhandlung teilt Dehérain (81) ohne nähere Detailangaben mit, erneuerte Experimente hätten gezeigt, daß bei gleichbleibender Lichtintensität die roten und die gelben Strahlen sowohl für die Kohlensäurezerlegung wie auch für die Wasserevaporation wirksamer seien, als die blauen und die violetten. In einer dritten Abhandlung Dehérains (80) wird u. a. als weiterer Beweis für diese (physiologische) Liaison der Umstand angeführt, daß die Oberseite des Blattes in bezug sowohl auf Transpiration wie auf Kohlensäurezerlegung mehr leistet als die Unterseite: „J'ajouterai en termi-

nant, que j'ai encore confirmé l'exactitude d'une ancienne observation de Guettard, qui a remarqué, que la partie supérieur des feuilles est celle, qui évapore les plus d'eau; on sait d'après les travaux de M. Boussingault, que c'est aussi celles, qui décomposent la plus grande quantité d'acide carbonique." Nun wissen wir aber, daß sich die beiden Blattseiten sowohl bezüglich der relativen Wasserabgabe als auch in bezug auf die Assimilationstätigkeit im allgemeinen gerade umgekehrt verhalten als dies Guettard und Boussingault angeben, und es ist zu verwundern, daß Dehérain die schon zwei Dezennien früher in den Annales des sciences naturelles (also in einem ihm leicht zugänglichen Journal) publizierte Abhandlung von Garrau nicht kannte oder nicht gekannt haben sollte, welcher Autor betreffs der relativen Transpirationsgröße der beiden Blattseiten gerade zu dem entgegengesetzten Resultate wie Guettard gekommen ist.

Waren schon Dehérain's Prämissen unrichtig, daß (im allgemeinen) die Blattoberseite mehr Wassergas durch Transpiration und auch mehr Sauerstoffgas infolge innerer Kohlensäurezerlegung emittiert, als die Blattunterseite, so ergaben die zuerst von Wiesner experimentell festgestellten und später von Comes, Henslow, Hellriegel und Wollny gleichsinnig erhaltenen Versuchsergebnisse, daß auch von den beiden Hauptdogmen Dehérains: 1) die Verstärkung der Transpiration im Lichte beruht auf der leuchtenden und nicht auf der wärmenden Kraft der Strahlen; 2) die roten und die gelben Strahlen wirken auf diesen Prozeß kräftiger als die blauen und die violetten — gerade das Gegenteil richtig ist.

Zur Beantwortung der Frage über die Beziehung zwischen Brechbarkeit der Lichtstrahlen und Transpirationsgröße der Pflanze stellte Wiesner (127) zunächst sehr genaue Versuche mit Benützung eines durch einen Soleil'schen Apparat entworfenen, objektiven Sonnenspektrums durch. Für je drei grüne (bewurzelte) Maispflänzchen betrug die stationäre Verdunstungsgröße per Stunde in Milligramm: Rot 136, gelborange 122, blau 146, ultraviolett 70, finster 62. Es leisten daher (entgegen der Behauptung von Dehérain) die am meisten leuchtenden Strahlen (orange und gelb) für die Transpiration weniger als die roten und besonders als die blauen, welche letzteren im Chlorophyllspektrum bekanntlich fast vollständig absorbiert erscheinen. Dadurch wurde Wiesner auf den Gedanken geführt, ob nicht gerade die vom Chlorophyll absorbierten Strahlengattungen es sind, welche vorwiegend die starke Transpiration im Lichte her-

vorrufen. Diese Annahme wurde durch die Ergebnisse diesbezüglich angestellter Versuche bestätigt, zu denen doppelwandige (Senebiersche) Glocken Verwendung fanden. Zur Füllung derselben dienten folgende Flüssigkeiten: a) Wasser mit fein ausgefälltem oxalsaurem Kalk (weiß); b) Lösung von doppelt chromsaurem Kali (gelb); c) Lösung von schwefelsaurem Kupferoxydammoniak (blau); d) weingeistige oder ätherische Chlorophylllösung (grün). Diese Flüssigkeiten wurden vorher auf gleiche Helligkeit gebracht. Um nur ein Beispiel anzuführen: für Maispflanzen ergab sich pro 100 qcm Blattoberfläche der stündliche, relative Transpirationswert in Milligramm: weiß 131; gelb 95; blau 119; grün 89. Ferner fand Wiesner, daß auch in einem der Dunstsättigung nahem Raume (Dehérain's Versuchspflanzen standen in einem solchen) die Wasserabgabe unter dem Einfluß der stark brechbaren Sonnenstrahlen ausgiebiger ist, als unter jenem der Spektralanteile rot bis grün.

Weitere Versuche mit grünen und mit etiolierten Maispflänzchen lehrten, daß unter sonst gleichen Umständen das Licht bei grünen Pflanzen weitaus stärker auf die Transpiration einwirkt als bei etiolierten und daß bei ergrünenden Pflanzen mit der Zunahme der Chlorophyllmenge die Lichtwirkung auf die Transpiration zunimmt. Wiesner ist deshalb zu der folgenden Erklärung der Lichtwirkung auf die Transpiration gekommen: Beim Durchgang des Lichtes durch das Chlorophyll (oder andere Farbstoffe, denn Versuche mit Blüten von *Spartium junceum*, *Lilium croceum* und *Malva arborea* zeigten, daß auch anders als grün gefärbte Pflanzengewebe eine Transpirationsteigerung durch das Licht erfahren) werden bestimmte Lichtstrahlen absorbiert, i. e. durch Umsatz in Wärme ausgelöscht. Durch diesen Umsatz erfolgt eine innere Erwärmung der Gewebe, infolgedessen die Spannkraft der Wasserdämpfe und die relative Feuchtigkeit in den Interzellularen zunimmt, wodurch eine Steigerung der Transpiration eintreten muß. Es ist somit nicht nur der erste Hauptsatz Dehérain's, daß die gelben Strahlen auf die Transpiration wirksamer sind, als die blauen, sondern auch der zweite, daß nämlich die Lichtwirkung bei der Transpiration auf der leuchtenden und nicht auf der wärmenden Kraft des Lichtes beruhe, gerade umzukehren. Durch diese Erkenntnis Wiesner's ist auch die Transpirationssteigerung im Lichte bei Konstanz der äußeren Temperatur und anderer Einflüsse erklärt, und die bis dahin strittige Frage, ob im dunstgesättigtem Raume bei gleichbleibender Außentemperatur Transpiration stattfinden könne für

belichtete Pflanzen im behandelnden Sinne beantwortet. Allerdings darf nicht vergessen werden, daß die lebende Pflanze außer des Wärmegewinnes infolge Lichtextinktion auch noch eine Wärmequelle in ihren Oxydationsprozessen besitzt. In der folgenden Tabelle ist nach Wiesner die von 100 qcm Fläche in einer Stunde abgegebene Wassermenge a) im Finstern, b) im diffusen Tageslicht, c) im Sonnenlichte verzeichnet (mg)

	a	b	c
Pflanze von Zea Mais (etioliert) . .	106	112	290
„ „ „ „ (grün) . . .	97	114	785
Blüte von Spartium junceum . . .	64	69	174
„ „ Malva arborea . . .	23	28	70

Wiesner kam also zu Resultaten, die denen Dehérain's (79) gerade entgegengesetzt waren. Dennoch suchte Dehérain (120) die prinzipielle Übereinstimmung seiner und Wiesner's Lehre durch folgenden Kunstgriff darzutun: Nach Wiesner erhöhen die vom Chlorophyll absorbierten Lichtstrahlen die Transpiration ganz besonders; nach Timirjaseff befördern sie die Zerlegung der Kohlensäure. Hatte ich (Dehérain) also nicht Recht, „qu'il existe entre évaporation et décomposition de l'acide carbonique une liaison?“ Vergegenwärtigt man sich nun, daß nach Timirjaseff die roten Strahlen am kräftigsten auf die Kohlensäurezerlegung, nach Wiesner die blauen am stärksten auf die Transpiration wirken, und daß nach Dehérain beide Prozesse am wirksamsten durch die gelben Strahlen beeinflußt werden, so kann aus dieser Kombination eine Liaison derselben Spektralanteile zum Assimilations- und gleichzeitig zum Transpirationsprozesse logischerweise nicht angenommen werden. Beachtenswert hingegen ist die folgende Deduktion von Dehérain: Wenn dieselben Lichtstrahlen die Kohlensäurezerlegung und die Transpiration besonders beeinflussen, dann muß letztere bei einer hinreichend besonnenen, chlorophyllführenden Pflanze ceteris paribus in einer an Kohlendioxyd reichen Luft geringer ausfallen als in gewöhnlicher Luft, oder in Kohlensäure freier Luft, da im ersten Falle die für die Kohlensäurezerlegung verwerteten Lichtstrahlen nicht gleichzeitig auf die Transpiration wirken können. Neuere Versuche, die Dehérain (150, 151) nach dieser Richtung hin anstellte, haben nun ergeben, daß die Wasserausgabe von insolierten (in Glasröhren eingeschlossenen) Gramineenblättern in einer Luft mit 4 bis 6 Proz. Kohlensäure kleiner, oft nur halb so groß war als in normaler Luft. Ich komme auf die Beziehungen zwischen Lichtabsorption, Assimilation und Chlorovaporisation ausführlicher zurück; vorerst führe

ich noch die Untersuchungen jener Autoren an, welche die Wiesner'sche Lehre von der Lichtwirkung auf die Transpiration bestätigten.

Comes (165, 172) benützte große Zinkkästen, die seitlich einen Ventilationsspalt besaßen und deren Vorderwand ein mit einer bestimmten Flüssigkeit gefülltes, planparalleles Glasgefäß bildete. Die Pflanzen wurden abwechselnd je 1—2 Stunden blauem (Kupferoxyd-ammoniaksulfat) oder rotgelbem (Kaliumbichromat) Lichte ausgesetzt und der erlittene Wasserverlust durch direkte Wägung bestimmt. Hierbei ergab sich das Transpirationsverhältnis gelb:blau:

Mirabilis Jalappa . . .	1 : 1,14	Cheiranthus incanus . . .	1 : 1,28
Polygonum Fagopyrum	1 : 1,16	Viola tricolor . . .	1 : 1,59
Collinsia bicolor . . .	1 : 1,24	Bromus maximus . . .	1 : 1,70

Eine andere Versuchsreihe mit jungen Pflanzen von Phlox Drumondii und Mirabilis Jalappa zeigte, daß die Transpiration in einem Lichte, das eine Chlorophylllösung passiert hatte, noch geringer war als hinter Kaliumbichromat. Das Transpirationsverhältnis betrug für die genannten Pflanzen im Mittel: grün:gelb = 1:1,3. — Eine dritte Versuchsreihe lehrte, daß ceteris paribus Blüten mit gelben Petalen (Hunnemannia, Escholtzia) im blauen Lichte stärker transpirierten als im gelben, solche mit blauen Petalen (Plumbago, Commelina, Tradescantia) im gelben Lichte stärker als im blauen. Bei anderen Blüten mit gefärbten Corollen (Pharbitis, Zinnia, Portulacca, Dahlia) stieg die Transpiration mit der Zunahme der Lichtabsorption durch den Farbstoff. Die Resultate, zu denen Comes gelangt, sind: „la luce di tanto favorisce la traspirazione, per quanto assorbita dalla sostanza colorante dell'organo: laonde, a parità di condizioni, traspira più l'organo, che è più intensamente colorato; ed emette più acqua, quando è esposto ai raggi di quella parte dello spettro solare, ore assorbe più luce. — Sono favorevoli alla traspirazione di un organo solamente quei raggi luminosi dallo stesso assorbiti, e non quelli inattivi: quindi la traspirazione di un organo, a parità di circostanze, è minima sotto l'influenza dei raggi del colore, che coincide con quello dell'organo, ed è massima sotto l'influenza dei raggi complementari“. — Es sei noch beigefügt, daß Comes bereits in einer früheren Abhandlung (149) und ohne Kenntnis der zwei Jahre vorher erschienenen Untersuchungen Wiesner's bei bewurzelten Pflanzen, belaubten Sprossen und abgetrennten Blättern gefunden hat, daß die stark brechbaren Strahlen die Transpiration viel energischer beeinflussen als die schwach brechbaren Lichtanteile.



Kurz nach diesen Publikationen von Comes erschienen einschlägige Arbeiten von Nobbe und von Hellriegel. Nobbe (186) benutzte große Vegetationskästen, deren Doppelglaswände mit gefärbten Flüssigkeiten gefüllt waren: Neutrales chromsaures Kali von 0,1, 0,5, 0,01 p. C. — schwefelsaures Kupferoxydammoniak von 0,05, 0,01, 0,004 p. C. — Karminlösung von 0,005 p. C. Konzentration. „Das blaue Licht deprimierte die Transpiration (zweijähriger Erlen) je nach der Konzentration der Lösung auf 35—51 Proz., das gelbe auf 57—81 Proz., das rote auf 47 Proz.“ Danach wäre die Wasserabgabe unter dem Einflusse der gelben Lichtstrahlen größer gewesen als unter dem der blauen; es ist nur die Frage, wie es mit der allgemeinen und spezifischen Transparenz der verwendeten Flüssigkeiten stand. Hellriegel (198) verwendete geräumige, farbige Glocken aus blauem und aus gelbem Glase, ununterbrochen vorzüglich ventiliert, und Gerstpflanzen. Die relative Transpirationsgröße der beiden Gersten (A, B) ohne Rücksicht auf das farbige Licht war  $A : B = 100 : 119$ ; nun wurde A unter die blaue, B unter die gelbe Glocke gestellt; nach sechstägiger Dauer betrug die Verdunstungsgröße A (blau): B (gelb)  $= 100 : 109$ . Hierauf kam A unter die gelbe, B unter die blaue Glocke; nach viertägigem Verweilen war das Verhältnis der Wasserabgabe: A (gelb):B (blau)  $= 100 : 126$ . Ein zweiter Versuch ergab dasselbe Resultat ( $100 : 109$  resp.  $100 : 128$ ). Die Transpiration war somit im blauen Lichte größer als im gelben. Wenn man aber weiß, daß nach der Angabe Hellriegel's, die Absorption der gelben Glocke sich auf den größten Teil von Violett und etwa die Hälfte von Blau erstreckte, die blaue Glocke nur Orange und etwa die Hälfte von gelb absorbierte, alle anderen Strahlen aber transmittierte, so dürfte der Autor fast Recht behalten, wenn er meint: „Diese Versuche können vielleicht noch weniger (als seine anderen) vor den Augen einer strengen Kritik bestehen.“

Eingehende und exakte Untersuchungen über den Einfluß bestimmter Spektralbezirke auf die Transpirationsgröße wurden von Henslow (229) ausgeführt. Dieser Autor experimentierte a) mit unter Wasser abgeschnittenen und hierauf in mit Wasser gefüllten Eprouvetten eingestellten Blättern und Sprossen; b) mit aus dem Boden genommenen, bewurzelten Pflanzen, für die ebensolche Eprouvetten benützt wurden; c) mit in Erde eingewurzelten Topfpflanzen. Durch eine Ölschicht (bei a und b) beziehungsweise durch einen Guttaperchaverschluß (bei c) wurde die Wasserabgabe aus den Behältern hintangehalten. Die Pflanzen standen in großen Kästen, deren obere Wand ein farbiges Glas bildete. Das von den Gläsern durch-

gelassene Licht enthielt folgende Absorptionsbänder des Chlorophylls: Rot I—II; gelb I—IV; grün III—VI; blau V—VII; violett II, IV—VII. Die Apparate standen bei einer Temperatur von 14—19° an einem Nordfenster. Übereinstimmend mit Wiesner wurden die größten Transpirationswerte in jenen Lichtanteilen gefunden, welche die größte Exstinktion im Chlorophyll erfahren. „I find, like Wiesner, that the largest amount of water transpired is coincident with those parts of the spectroscopie, wherein lie the strongest absorption-bands of chlorophyll“. Henslow schließt sich auch der Erklärung Wiesner's an, daß die Transpiration infolge des Umsatzes des in das Chlorophyll einstrahlenden Lichtes in Wärme erhöht wird. Später dehnte Henslow (240) seine Untersuchungen mit Benützung derselben Gläser auf Hymenomyceten und etiolierte Sprosse aus; auch hier lagen die Maxima der Wasserabgabe im weißen (vollen), violetten und roten Lichte, die Minima im gelben. Henslow betrachtet deshab die Transpiration als eine Funktion des lebenden Plasmas, zu der bei ergrünenden oder ergrünenden Pflanzenteilen noch die Chlorophylltranspiration tritt (vgl. S. 2).

Über den Einfluß der Lichtfarbe auf die Transpirationsgröße besitzen wir auch Erfahrungen von Wollny (241). In größeren, glasierten, mit humosem Kalksand gefüllten Blumentöpfen wurden durch Aussaat dichte Grasdecken hergestellt. Von sechs solchen ausgewählten Decken betrug das Transpirationsverhältnis für je 2 Töpfe: 100:80,2:79,8 oder etwa 5:4:4. Dann kamen diese Topfpaaire unter Kästen, die auf im Freien stehenden Tischen aufgestellt wurden. Die Vorderwand und die Flankenwände der Kästen bestanden aus farbigen Gläsern; die Hinterwand bildete ein Leinenvorhang. Die Gläser ließen folgende Lichtanteile durch: a) (rot) A—C; b) (gelb) A—F $\frac{1}{2}$ ; c) (blau) D $\frac{1}{2}$ —H. Die Wägung der Töpfe erfolgte täglich einmal; durch Gießen wurde der Wassergehalt des Bodens ziemlich gleich erhalten. Die Gewichtsverluste der Pflanzen verhielten sich nach 13 Tagen: rot:gelb:blau = 100:96,4:70,0. Nun mußte noch die während der Versuchszeit unter dem verschiedenen Lichteinfluß produzierte, ungleiche Menge organischer Substanz in Rechnung gezogen werden. Durch Division der Verhältniszahlen der Verdunstung durch die (vom Autor an anderen Versuchsreihen ermittelten) Verhältniszahlen der produzierten Trockensubstanz für dieselben Lichtfarben ergab sich die Proportion rot:gelb:blau gleich 100:38,3:115,7. Berücksichtigt man noch, daß die unter Rot stehenden Pflanzen von vornherein mehr Wasser abgaben (5:4:4),

so ergeben sich mit Einbeziehung dieser Zahlen die relativen Transpirationsgrößen rot:gelb:blau gleich 100:48:144,7. Die Transpiration war also bezogen auf die Reduktion gleicher Menge von Trockensubstanz im blauen Lichte stärker als im roten, im letzteren wieder etwa doppelt so groß als im gelben. Diese Resultate stimmen somit mit den Versuchsergebnissen von Wiesner, Comes, Hellriegel und Henslow.

Die Ergebnisse der vergleichenden Transpirationsversuche, die L. Buscalioni und G. Pollacci (391) mit verschieden gefärbten Laubblättern, Petalen und Blüten derselben Pflanzenart und mit Benutzung farbiger Schirme erhalten haben, bestätigen Wiesner's Beobachtungen und dessen Theorie der Lichtabsorption. Da das umfangreiche Werk der genannten Autoren knapp vor Schluß meines Manuskriptes erschienen ist, beschränke ich mich auf die Wiedergabe des Hauptergebnisses: „Il risultati a cui siamo giunti cogli schermi colorati e le deduzioni d'indole fisica che ne abbiamo ricavate confermano ed illustrano le osservazioni del grande fisiologo di Vienna“.

Die ersten Versuche über den Einfluß verschiedenfarbigen Lichtes auf die Transpiration wurden von Daubeny im Jahre 1836 veröffentlicht. Die (vom Autor nicht genannten) Pflanzen befanden sich mit einem Schälchen konzentrierter (und gewogener) Schwefelsäure in rechteckigen Zinkkästen, deren Vorderseite eine farbige Glasscheibe oder ein mit Farbstofflösung gefülltes Glasgefäß bildete. Im allgemeinen wurde unter orangelebem Glase mehr Wasser abgegeben als unter rotem oder unter grünem. Wie es scheint, hat Daubeny die verwendeten Gläser und Flüssigkeiten weder auf Transparenz noch auf Absorptionsvermögen geprüft. Riesler (92) kam bei Verwendung farbiger Glocken gleichfalls zu keinem befriedigenden Resultate. Die Verdunstung fiel in absteigender Reihe bei Erbsenpflanzen pro 100 ccm Blattfläche: blau, gelb, violett, rot, grün; pro 100 g Blattgewicht: gelb, violett, rot, blau, grün; bei der Luzerne für gleiche Blattfläche blau, gelb, rot, grün, violett, für dasselbe Blattgewicht blau, gelb, grün, rot, violett. Die auffallende Erscheinung, daß bei den Riesler'schen Versuchen im allgemeinen die stärkste Wasserabgabe unter der blauen und unter der gelben Glocke stattfand, erklärt sich daraus, daß diese beiden Glocken, „laissant passer presque tous les rayons de lumière“. Baudrimont prüfte die Transpiration unter dem Einflusse von Licht, das verschiedenfarbige Gläser passiert hatte; diese war am stärksten hinter gelbem, am schwächsten hinter rotem und blauem Glase. Er kam zwar zu dem Schlusse: „quoi qu'il en soit, on est obligé de reconnaître, qu'il existe une certaine relation entre la quantité de lumière, qui traverse les verres de couleur et celle de l'eau dont elle détermine l'évaporation“, konnte aber die Art der „relation“ nicht finden, da die Versuche nicht exakt waren. Auch die Frage „Est-ce la lumière colorée, qui se transforme finalement en chaleur“, ließ der Autor — in Unkenntnis die Untersuchungen Wiesner's unbeantwortet. Leclerc (200) zieht aus seinen Versuchen folgenden Schluß: „La transpiration est indépendante de la lumière (!); si la transpiration est plus active dans la plante exposé au soleil que dans la plante à l'ombre, cela tient: a) aux rayons calorifiques, qui, accompagnant toujours les rayons lumineux, échauffent les tissus; b) aux fontions d'assimilation des feuilles“.

## XII. Einfluß der Luftkohensäure.

---

Ich habe früher (p. 99) die Beobachtung von Dehérain angeführt, nach welcher die Wasserabgabe von in Glasröhren eingeschlossenen und besonnten Grasblättern in einer Luft mit 4—6 Proz. Kohensäure kleiner, oft nur halb so groß war wie in einer an Kohensäure freien Luft. Dies war für Dehérain ein Beweis mehr, dafür, daß Transpiration und Kohensäurezerlegung durch dieselben Lichtstrahlen besonders beeinflußt werden.

Über den Einfluß des Kohlendioxydes auf die Größe der Chlorovaporisation (Transpiration insolierter, chlorophyllführender Gewebe) besitzen wir heute eine größere Zahl experimenteller Untersuchungen; insbesondere war es Jumelle, der auf diesen Gegenstand viele Mühe verwendete. Jumelle (243) wählte zwei gleich aussehende Lupinenkeimpflanzen mit je 3 Blättern, die er am Wurzelhalse abschnitt und in je ein durch Quecksilber abgesperres Gläschen verschloß. Das eine Probierglas enthielt gewöhnliche Luft, in das andere wurden etwa 5 Proz. Kohensäure eingeführt. Nach anderthalbstündiger Sonnenexposition betrug der Gewichtsverlust der Pflanze in normaler Luft 0,071 g, in der Luft mit 5 Proz.  $\text{CO}_2$  nur 0,054 g. In einem anderen Falle verlor nach zweistündiger Sonneneinwirkung die Pflanze in einer an Kohensäure freien Luft (Absorption durch festes Kali) 0,165 g, dagegen die in Luft mit 9 Proz.  $\text{CO}_2$  befindliche Pflanze nur 0,069 g. Bei einer zweiten Serie von Versuchen bestimmte Jumelle (254) gleichzeitig die Wasseraufnahme und Wasserabgabe. Von in Sachs'scher Nährstofflösung gezogenen Lupinenpflanzen kam ein Exemplar (mit sechs Blättern) unter eine Glocke (I), in welche täglich Kohensäure eingeleitet wurde; ein zweites Exemplar (mit vier Blättern) kam unter eine Glocke (II), deren Luft infolge Aspiration durch Kalilauge keine Kohensäure enthielt. Nach fünf Tagen hatte Pflanze I (mit  $\text{CO}_2$ ) 8 g Wasser absorbiert und ebensoviel evaporiert; Pflanze II (ohne  $\text{CO}_2$ ) hatte trotz der kleineren Blattoberfläche 20 g Wasser aufgenommen und 19,25 g verdunstet. Ein analoges Resultat (Steigerung der Wasserbewegung bei sistierter Kohensäureassimilation) ergaben Ricinuspflanzen und Topfpflanzen von Liquidambar; die ersteren hatten in der an Kohlendioxyd reichen Luft 1 g Wasser absorbiert und 1,65 g evaporiert, in an diesem Gase freien Luft aber 4 g aufgenommen und 4,39 g verdunstet. In einer dritten Serie von Ver-

suchen verglich Jumelle (255) die Transpirationsgröße normaler Pflanzen mit der ätherisierter. Zu diesem Zwecke wurden je zwei möglichst gleiche Sprosse (*Quercus*, *Ostrya*, *Pteris aquilina*, *Solanum tuberosum*) ausgesucht, von denen der eine unter eine Glocke ohne Äther, der andere unter eine Glocke gestellt wurde, die eine bestimmte Ätherdosis enthielt, welche nach Vorversuchen hinreichend war, um die Assimilation zu sistieren, ohne gleichzeitig die Pflanze zu töten. Auf gleiches Trockengewicht bezogen, war die Transpiration der ätherisierten Blätter im Lichte viel größer, im Dunkeln dagegen kleiner als die der nicht ätherisierten.

Fassen wir Jumelle's Ergebnisse zusammen: In der ersten Versuchsreihe wurde grünen Pflanzen durch Erhöhung des Kohlenäuregehaltes der Luft die Möglichkeit geboten, die Assimilationstätigkeit zu steigern; die Transpiration erfuhr eine Depression. In der zweiten Versuchsreihe wurde die Assimilation durch Ausschluß der Kohlenäure, in der dritten Versuchsreihe durch Ätherisierung der Pflanze arretiert; die „Transpiration chlorophyllienne“ erreichte hierbei einen höheren Wert als in normaler Luft. Nach Jumelle kann die Transpirationssteigerung belichteter, chlorophyllhaltiger Pflanzen bei gleichzeitig gehemmter Kohlenäureassimilation und ebenso die Herabsetzung der Evaporation bei erhöhter Assimilationstätigkeit nur so erklärt werden, daß jene Lichtanteile, welche im Dienste der Kohlenäurezerlegung stehen, für die Transpiration (chlorophyllienne) disponibel werden, während bei höherem Kohlenäuregehalte der Luft jene Lichtstrahlen, welche die Transpiration fördern würden, zur Zerlegung der Kohlenäure verwendet werden.

Die Versuche von Jumelle wurden hinsichtlich ihrer methodischen Ausführung von E. und J. Verschaffelt (261) angegriffen. Jumelle verwendete nämlich zur Absorption der Luftkohlenäure unter der Glocke Kali. Da nun diese Substanz bekanntlich wasserentziehend wirkt, stellte Jumelle unter dieselbe Glocke noch ein Schälchen mit Wasser, in der Meinung, die Verdunstung des letzteren werde die Wirkung des Kali kompensieren. Diese Schlußfolgerung ist aber nach Verschaffelt falsch, wie der folgende Versuch lehrte: Unter zwei Glocken a und b lag je eine Frucht von *Ficus carica*. Der Gewichtsverlust betrug am ersten Tage unter Glocke a = 209, unter b = 200 mg; am zweiten Tage 185 resp. 181 mg; am dritten Tage stand unter Glocke b ein Schälchen mit Schwefelsäure und außerdem ein solches mit Wasser. Die Transpiration betrug aber dann unter a = 182, unter b = 400 mg! Verschaffelt's hielten

es daher für geboten, eigene Untersuchungen anzustellen. Sie aspirierten einen trockenen, kohlenstoffhaltigen, beziehungsweise kohlenstofffreien Luftstrom über die Versuchspflanzen, ließen den von diesen exhalieren Wasserdunst durch Chlorkalzium absorbieren und erhielten in der Gewichtszunahme des letzteren die Verdunstungsgröße.

In Fig. 15 ist der von Verschaefelt verwendete Apparat dargestellt. Die Autoren haben nur eine Hälfte gezeichnet; links ist dieselbe Einrichtung wie rechts, nur mit dem Unterschiede, daß das Gefäß bk mit Ätzkali fehlt. Auf einem Gestell befindet sich beiderseits unter einer zylindrischen Glasglocke (A und B) je ein Exemplar

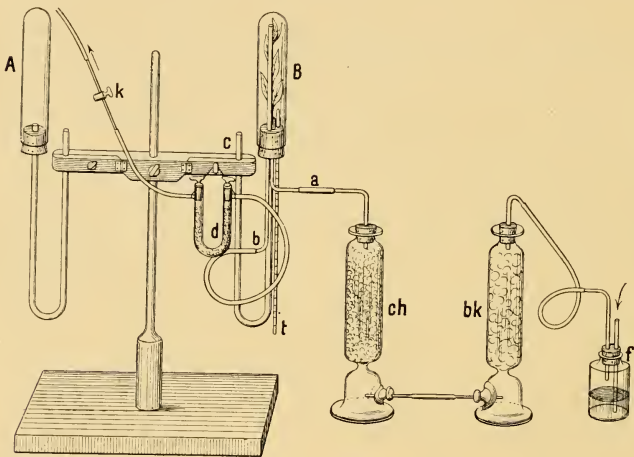


Fig. 15.

Apparat von Verschaefelt zu vergleichenden Bestimmungen der Transpiration in  $\text{CO}_2$  haltiger und in  $\text{CO}_2$  freier Luft.

der Versuchspflanze, deren Wurzeln in Nährstofflösung tauchen (in der Figur nicht sichtbar); je ein Wärmemesser *t* dient zur Kontrolle der Temperatur unter den Glocken. Durch beide Glocken wird gleichzeitig Luft aspiriert; diese passiert die Flasche *f*, verliert (rechts) in dem mit Ätzkali gefüllten Gefäß *bk* die Kohlensäure, in dem mit Chlorkalzium gefüllten Gefäß *ch* den Wasserdunst, gelangt dann in den Zylinder *B*, von hier mit dem von der Pflanze abgegebenen Wasser beladen via *b* zu dem Chlorkalzium enthaltenden und gewogenen U-Rohre *d* und von diesem durch einen mittels des Hahnes *k* ver-

schließbaren Schlauch in der Richtung des Pfeiles zum Aspirator. Die rechte Seite (bei A) hat die gleiche Einrichtung, nur mit dem Unterschiede, daß, wie schon bemerkt, das Gefäß bk fehlt; die Pflanze erhält hier trockene, kohlendurehaltige Luft; bei B hingegen kohlendurefreie Luft. Die mit *Citrus aurantium*, *Aucuba japonica* und *Cinnamomum* gemachten Versuche dauerten jedesmal mehrere Tage von 8 Uhr a. m. bis 4 Uhr p. m. Die beiden Pflanzen wurden täglich getauscht (A nach B und umgekehrt); während der Nacht befanden sie sich, um ihre individuelle Transpirationsgröße kennen zu lernen, in trockener, gewöhnlicher Luft. Diese Versuche ergaben, „dat eene plant merkelijk meer transpireert in Koolzuurvrije lucht dan in gewone ( $\text{CO}_2$  houdende) lucht“. Diese stärkere Transpiration in kohlendurefreier Luft zeigte sich nicht nur während Belichtung der Pflanzen, sondern auch im Dunkeln. Aus letzterem Grunde halten Verschaffelt's die Jumelle'sche Erklärung der gesteigerten Transpiration einer belichteten Pflanze bei verminderter oder sistierter Assimilationstätigkeit für nicht annehmbar. Es ist übrigens schon a priori unwahrscheinlich, bemerken Verschaffelt's, daß die geringe Quantität Energie, die zur Assimilation verwendet wird, eine so ansehnliche Steigerung der Transpiration, die Jumelle stets bekommen hat, bewirken könne. Eine Erklärung ihrer Versuchsergebnisse haben Verschaffelt's nicht gegeben.

Die kritischen Bemerkungen Verschaffelt's veranlaßten Jumelle (266) zur Abwehr und zu neuen Versuchen. Bezüglich belichteter Pflanzen stimmen die Befunde Verschaffelt's mit denen von Jumelle überein. Was jedoch die verdunkelten Exemplare betrifft, so meint Jumelle, daß die von Verschaffelt's für  $\text{CO}_2$  freie und  $\text{CO}_2$  haltige Luft gewonnenen Transpirationszahlen innerhalb so enger Grenzen liegen, wie sie Beobachtungsfehler, die bei physiologischen Versuchen unvermeidlich sind, ergeben. Den Einwand Verschaffelt's bezüglich des Kali hat sich Jumelle selbst gemacht; übrigens erhielt er bei der ersten Versuchsreihe ohne Kali dasselbe Resultat. Bei Wiederholung seiner Versuche verwendete Jumelle Barytwasser statt Kalilauge. Unter zwei große, mit schwarzem Papier umhüllte Glasglocken wurde je ein beblätterter Zweig derselben Pflanze und eine Schale mit gewogener, konzentrierter Schwefelsäure aufgestellt. Außerdem befand sich unter der Glocke B, in die  $\text{CO}_2$  freie Luft eingeleitet wurde, ein Gefäß mit Barytwasser (behufs Absorbierung der durch Atmung gebildeten Kohlendure), unter der Glocke A, deren Luft 7—8 Proz.  $\text{CO}_2$  enthielt, als Äqui-

valent für die Feuchtigkeitsvermehrung durch das Barytwasser ein gleiches Gefäß mit ebensoviel dest. Wasser. Die Zulässigkeit der Verwendung einerseits von Barytwasser, andererseits von destilliertem Wasser wurde durch einen Vorversuch dargetan. Neuerdings wurde gefunden, daß grüne Blätter in kohensäurefreier Luft, also bei sistierter Kohensäure Assimilation die Verdunstungsgröße im Lichte erhöhen, während bei Lichtabschluß der Kohensäuregehalt der Luft keinen konstatierbaren Einfluß auf die Transpirationsgröße ausübt; es hat sich ferner herausgestellt, daß chlorophyllfreie Pflanzenteile sowohl bei Anwesenheit als auch bei Abwesenheit von Kohensäure gleiche Wassermengen transpirieren, mögen sie belichtet sein oder nicht. Jumelle hält deshalb den schon früher ausgesprochenen Satz für bestätigt, daß belichtete grüne Pflanzenteile in kohensäurefreier Luft deshalb eine erhöhte Verdunstungstätigkeit erfahren, weil wegen sistierter Assimilation die ganze Energie der von Chlorophyll absorbierten Lichtstrahlen in den Dienst der Transpiration tritt. „Il nous semble donc, plus que jamais, amplement prouvé, que si, à la lumière l'absence d'acide carbonique a pour effet d'accélérer la transpiration des plantes ou des organes verts, cette accélération s'explique par ce fait, que l'énergie des radiations absorbées par la chlorophylle ne pouvant plus être employée pour la décomposition de l'acide carbonique, se reporte entière sur la transpiration.“

Die folgenden „rapports“ geben die von Jumelle gefundenen relativen Transpirationsgrößen an. Das Verhältnis  $a : b$  bezieht sich auf die Transpirationsgröße der beiden Vergleichspflanzen bei freier Exposition in gewöhnlicher Luft; das Verhältnis  $a_1 : b_1$  auf die Transpirationsgröße unter den Glocken und zwar  $a_1$  mit  $\text{CO}_2$ ,  $b_1$  ohne  $\text{CO}_2$ . I. Grüne Pflanzen im Dunkeln. *Osmanthus ilicifolius*:  $a : b = 1,10 : 1$ ,  $a_1 : b_1 = 1,10 : 1$ ; *Ligustrum sinense*:  $a : b = 1,03 : 1$ ,  $a_1 : b_1 = 1,05 : 1$ . II. Grüne Pflanzen im Licht: *Ruscus aculeatus*  $a : b = 1,66 : 1$ ;  $a_1 : b_1 = 0,92 : 1$ . *Ilex aquifolium*  $a : b = 1,37 : 1$ ,  $a_1 : b_1 = 0,88 : 1$ . III. Chlorophyllfreie Pflanzen im Lichte: *Clitocybe rivulosa*  $a : b = 1,12 : 1$ ,  $a_1 : b_1 = 1,10 : 1$ ; weiße Hyacinthenblüten  $a : b = 1,16 : 1$ ,  $a_1 : b_1 = 1,15 : 1$ .

Ich schließe hier die Mitteilung jener Versuche an, die Barthélemy (101, 102) einige Jahre vor dem Erscheinen der ersten Arbeit Jumelle's publiziert hatte. Barthélemy hatte einen Euvonymus so adjustiert, daß die Wurzeln in ein mit Wasser gefülltes, kalibriertes Gefäß tauchten, während die beblätterten Teile mit einer gewogenen Menge von Chlorkalzium unter einer Glasglocke standen. Es konnte daher gleichzeitig das Volum des von den Wurzeln aufgenommenen Wassers und das Gewicht des von den Blättern ausgegebenen Wassers bestimmt werden. Befand



sich unter der kräftig beleuchteten (*vivement éclairé*) Glocke gewöhnliche Luft, so wurde von der Versuchspflanze innerhalb 48 Stunden 6,2 ccm Wasser absorbiert und 5,45 g evaporiert. Nachdem hierauf unter die Glocke von ca. 5 Liter Rauminhalt etwa 2 Liter CO<sub>2</sub> gebracht waren, wurden in 48 Stunden 6,5 ccm Wasser (also fast ebensoviel wie früher) aufgenommen, das Gewicht des Chlorkalziums vergrößerte sich aber nur um 3,55 g. Nach neuerlicher Füllung der Glocke mit normaler Luft wurden in derselben Zeit 6,8 g Wasser eingenommen und 5,87 g ausgegeben. Eine *Opuntia brasiliensis* hatte bei zwei-stündiger Sonnenexposition in gewöhnlicher Luft im Mittel 0,46 g, in einer Luft mit 50 Proz. CO<sub>2</sub> nur 0,2 g evaporiert. „Il résulte des ces expériences, que la présence de l'acide carbonique a pour effet de diminuer la quantité de vapeur que la plante émet dans le même temps et dans les mêmes circonstances.“

Während Dehérain und Jumelle die Verminderung der Transpiration bei gleichzeitiger Steigerung der Assimilation dadurch erklären, daß jene Lichtstrahlen, die bei gehemmter Assimilation der Transpiration zugute kämen, bei gesteigerter Kohlensäurezerlegung für diesen Prozeß in Anspruch genommen werden, ist Barthélemy der Ansicht, daß bei erhöhter Assimilationstätigkeit auch eine größere Wassermenge zur Bildung organischer Substanz verbraucht wird, die sonst zur Exhalation kommen würde. Zu dieser Erklärung von Barthélemy bemerkt Jumelle, daß dieselbe nicht zulässig sei, da eine Assimilation wegen des großen Kohlensäuregehaltes, der von Barthélemy den Pflanzen geboten wurde, fraglich sei und sich auch die große Menge des gleichzeitig in der an Kohlensäure freien Atmosphäre absorbierten Wassers nicht erklären lasse.

Für eine besondere Frage wollte Sorauer (178) die Änderung der Verdunstungsgröße beim Mangel freier Kohlensäure kennen lernen. Zu diesem Zwecke brachte er in Nährstofflösung erzeugte Raps-sämlinge unter eine Glocke, unter der sich zum Zwecke der Kohlensäureabsorption Gefäße (in verschiedener Höhe angebracht) mit Kalilauge befanden; andere Raps-pflänzchen kamen unter eine ebensolche Glocke ohne Kali. Versuchsdauer 25. Aug. bis 15. September. Das Ergebnis war eine Mehrverdunstung jener Pflanzen, denen die Kohlensäure entzogen wurde, gegenüber den in normaler Luft befindlichen Exemplaren. Der Gewichtsverlust betrug nämlich pro g Trockensubstanz 355 resp. 245 g, pro 100 qcm Verdunstungsfläche 118 resp. 92 g.

Die Versuche Sorauer's werden kaum jemanden befriedigen. Erstens ist darauf hinzuweisen, daß sich die Pflanzen unter der „Kali-

glocke“ gegenüber den Vergleichspflanzen unter der „kalilosen Glocke“ in einer relativ trockenen Luft befanden, daher leichter Wasser abgeben konnten. Zweitens war die Versuchsdauer für derartige Experimente zu lang; tatsächlich gingen unter der Kaliglocke alle Versuchspflanzen bis auf zwei zugrunde und diese zeigten eine sehr schwache Entwicklung; ihre Gesamttrockensubstanz war im Mittel nur halb so groß als die jener, denen unter der Glocke ohne Kali Luftkohensäure zur Verfügung stand. Ähnliche Bedenken veranlaßten Kohl zur Vornahme eigener Versuche. Bei diesen wurde eine bewurzelte Tabakpflanze in dem „Transpirationsapparat“ des Autors bei sonst gleich bleibenden äußeren Bedingungen abwechselnd in gewöhnlicher Luft, in  $\text{CO}_2$  freier Luft und in reiner  $\text{CO}_2$  gehalten und jedesmal während 10—20 Minuten die Zahl der Sekunden ermittelt, die zur Absorption einer fünf Teilstriche langen Wassersäule im Apparate nötig war. Hierbei trat sowohl mit der Unterdrückung der Assimilation in  $\text{CO}_2$  freier Luft, als auch bei starker Deprimierung derselben (durch Zuleitung reiner  $\text{CO}_2$ ) eine Herabsetzung der „Transpiration“ ein.

Schließlich ist noch darauf hinzuweisen, daß Dixon (330) mittels eines eigenen Transpirationsapparates fand, daß die Verdunstung von Syringa- und von Laburnum Sprossen in Kohlensäuregas um 13 Prozent gegenüber der in normaler Luft deprimiert wurde.

Sieht man von den Resultaten Sorauer's (mit Rücksicht auf seine Versuchsanstellung) ab und überblickt die Ergebnisse der anderen Autoren, so findet man folgendes: die Transpiration belichteter Pflanzen war in gewöhnlicher Luft größer als a) in Luft mit 4—6 Proz. Kohlensäure (Dehérain); b) in Luft mit 5—9 Proz. Kohlensäure (Jumelle); c) in solcher mit ca. 40—50 Proz. Kohlensäure (Barthélemy); d) in reiner Kohlensäure (Dixon). Nach Jumelle und Kohl war auch die Wasseraufnahme in gewöhnlicher resp. kohlenstoffreicher Luft größer als in einer an Kohlensäure reichen Luft resp. in reiner Kohlensäure. Daraus kann aber nicht, wie es Dehérain getan hat, unbedingt geschlossen werden, daß es dieselben Lichtstrahlen sind, welche die Kohlensäureassimilation und die Transpiration besonders begünstigen; wir wissen ja auch heute, daß dies nicht der Fall ist; es ergibt sich daraus ebensowenig die zwingende Konklusion Jumelle's, daß die Transpiration bei hohem Kohlensäuregehalt der Luft deshalb deprimiert wird, weil jene Lichtstrahlen, welche die Transpiration fördern, zur Zerlegung der Kohlensäure verwendet werden. Ich möchte mir vielmehr die schwächere Transpiration in einer an Kohlensäure reichen Luft oder gar in reiner

Kohlensäure daraus erklären, daß die stomatäre Verdunstung infolge eines partiellen resp. vollständigen Verschlusses der Spaltöffnungen reduziert oder sistiert wird; ich verweise auf den Befund von Darwin, nach welchem Pflanzen in Kohlensäuregas ihre Spaltöffnungen schließen. Es ist eigentlich zu verwundern, daß keiner der Autoren, die den Einfluß der Kohlensäure auf die Transpiration geprüft haben, den Zustand der Spaltöffnungen vergleichend untersucht hat.

Sorauer (178) findet es mit Rücksicht auf die Lehre Wiesner's fraglich, ob die durch Lichtextinktion im Chlorophyll erzeugte Wärme die Transpiration direkt erhöht. Es scheint Sorauer annehmbarer, daß die Pflanze das Licht mehr ausnützt und zwar vorerst zu chemischer Arbeit, die in ihren Endphasen wärmespendende Oxydationsprozesse bildet. Sorauer deduziert also: durch die Lichtabsorption wird die Assimilation gesteigert; durch die vermehrte Neubildung organischer Substanz wird Material für die sich daran knüpfenden Oxydationsprozesse gewonnen; durch letztere wird Wärme erzeugt, die wieder durch Erhöhung der Dampfspannung in den Interzellularen die Transpiration erhöht. Sorauer stützt seine Theorie auf Versuchsergebnisse von Fittbogen und von Dehérain.

Zu den Versuchen von Fittbogen (132) dienten Sandkulturen von *Hordeum vulgare*. Aus den von diesem Autor ermittelten Werten für Assimilation, Respiration und Transpiration hat Sorauer folgende Zahlen berechnet:

Versuchsreihe	Wasserverdunstung	Kohlensäureproduktion
	in 5 Minuten des Tages	in 5 Minuten des Nachts
I.	0,287 g	0,260 mg
II.	0,060 „	0,081 „
III.	0,152 „	0,151 „
IV.	0,283 „	0,265 „

„Betrachtet man“ sagt Sorauer „ohne Rücksicht auf die angegebene Trockensubstanz und Blattgröße einfach die während der Versuchsdauer am Tage gelieferte Wassermenge und die in der Nachtzeit produzierte Kohlensäure, so ergibt sich eine auffallende Parallelität. Es zeigt sich nämlich hier fast genau, daß jede Pflanze in fünf Minuten am Tage soviel Gramm Wasser ausgehaucht hat, als sie während der Nacht in derselben Zeiteinheit Milligramm Kohlensäure geliefert hat.“ Weiters reproduziert Sorauer zur Stütze seiner Theorie aus meiner Schrift (119) die Resultate jener Versuche von Dehérain, in denen dieser bei in Glasröhren eingeschlossenen Kornblättern einerseits die Kohlensäurezersetzung, andererseits die Wasserabgabe ermittelt hat. In sämtlichen Versuchsreihen

Dehérais — meint Sorauer — war mit der höchsten Kohensäureabgabe auch die höchste Verdunstung verbunden, und ausnahmslos fand mit dem Fallen der einen Größe eine Verminderung der anderen statt. „Wird man da nicht auf die Vermutung parallel gehender Oxydationsprozesse in der Pflanze hingewiesen? Sehen wir nun zu, inwieweit die von Sorauer angezogenen Ergebnisse von Fittbogen und Dehérais seine Theorie zu stützen vermögen. Aus den Versuchen Fittbogen's mit einer einzigen Pflanze kann selbstverständlich ein allgemeiner Schluß auf eine Parallelität zwischen Transpiration bei Tage und Respiration bei Nacht nicht geschlossen werden, da beide Prozesse selbst bei einer und derselben Pflanze von den äußeren Bedingungen in verschiedener Weise beeinflußt werden. Bei nahezu gleich großer Kohensäureabgabe während der Nacht kann die Transpiration (und Assimilation) bei Tage je nach den äußeren Bedingungen sehr verschiedene Werte erreichen. Was aber die Dehérais'schen Experimente betrifft, so war, abgesehen von der mangelhaften Methode, mit der höchsten Verdunstung nicht die höchste Kohensäureabgabe (Oxydation, Atmung), sondern die stärkste Kohensäurezerlegung (Assimilation) verbunden. In meiner kleinen Schrift „Über den Einfluß äußerer Bedingungen auf die Transpiration etc.“ (119), aus welcher Sorauer die betreffenden Resultate Dehérais's (79) entnommen, hat sich in einer Tabellenüberschrift leider ein Fehler eingeschlichen; es muß nämlich dort (p. 6) statt „Kohlensäure ausgehaucht“ . . . richtig heißen „Kohlensäure zerlegt“. Daß obiger Fehler ein lapsus calami ist, ergibt sich daraus, daß ich erstens die Dehérais'sche Abhandlung richtig zitierte („sur l'évaporation de l'eau et la décomposition de l'acide carbonique“) und zweitens aus meinem, jener Tabelle vorangehenden und auf dieselbe sich beziehenden Text, wo von Kohensäurezerlegung gesprochen wird. Sorauer (178) hat nun jene Tabelle samt dem Lapsus abgedruckt, ohne letzteren erkannt zu haben; daraus erklärt es sich auch, wenn er (p. 131) sagt, daß in den Dehérais'schen Versuchsreihen „mit der höchsten Kohensäureabgabe auch die höchste Verdunstung verbunden ist“ und daß man hiedurch auf die Vermutung parallel gehender Oxydationsprozesse in der Pflanze hingewiesen wird. Auf diese, vermeintlich von Dehérais gefundene Parallelität baut Sorauer seine Theorie auf, während Dehérais, wie schon bemerkt, die Menge der zerlegten Kohensäure zu bestimmen versucht hat.

Es ergibt sich daraus, daß die von Sorauer zitierten Resultate von Fittbogen für die Theorie der „parallel gehenden Oxydations-

prozesse in der Pflanze“ nicht herangezogen werden können, während Dehérain's Ergebnisse der Sorauer'schen Theorie direkt widersprechen. Es wurde schon früher gesagt, daß Sorauer selbst Versuche angestellt hat, um die Änderung der Verdunstungsgröße bei sistierter Assimilation zu prüfen und dabei unvermutet, weil gegen seine Theorie sprechend, fand, daß jene Pflanzen, denen die Luftkohlensäure entzogen war, eine größere Verdunstung zeigten, als die in normaler Luft befindlichen Kontrollpflanzen. Um nun aus dem Dilemma herauszukommen, will Sorauer die Erscheinung der vermehrten Transpiration bei sistierter Zunahme organischer Substanz infolge Mangels freier Kohlensäure mit der Beobachtung in Einklang bringen, daß die Verdunstungsgröße derselben Blattfläche auch gesteigert wird, wenn andere Ernährungsmängel sich einstellen, z. B. beim Versetzen einer Pflanze aus Nährstofflösung in destilliertes Wasser.

Auch Kohl (230) ist mit Wiesner's Erklärung der Lichtwirkung auf die Transpiration nicht ganz einverstanden und baut eine Hypothese auf, deren Gedankengang etwa folgender ist: Aus den Versuchen Wiesner's ergibt sich ein Transpirationsmaximum in rot und ein zweites in blau, welche Spektralanteile mit den Stellen der Assimilationsmaxima von Engelmann und Reinke so ziemlich zusammenfallen. Da man nun nach Engelmann annehmen muß, daß die Energie der absorbierten Lichtstrahlen zur Spaltung der Kohlensäure im Chlorophyllkorn vollständig verbraucht wird, also für einen Umsatz von Licht in Wärme nichts übrig bleiben würde, und da bei der Spaltung des Kohlendioxydes Wärme auch nicht entwickelt werden kann, so ist es notwendig, sich nach einer anderen Wärmequelle umzusehen, und diese findet Kohl in der Veratmung der durch die Assimilation gebildeten, chemischen Verbindungen. Wie man sieht, deckt sich die Kohl'sche Theorie mit jener, die Sorauer auf irrtümliche Voraussetzungen und unzulängliche Versuche basiert, aufgestellt hat. Warum Kohl davon keine Notiz nimmt, weiß ich ebensowenig, als warum er Sorauer's umfangreiche (142 Druckseiten starke) Abhandlung als „Schriftchen“ anspricht. Übrigens ist es bekannt, daß Sachs (53) lange vor Sorauer und Kohl auf die Wärmebildung in der Pflanze durch Oxydationsprozesse hingewiesen und unter der Annahme, daß fast die ganze Eigenwärme zur Bildung von Wasserdampf verwendet wird, eine Methode abgeleitet hat, die Quantität der vegetabilischen Eigenwärme zu messen, wobei er als Maß derselben den auf ihre Kosten entstandenen Wasserdampf d. h. die Transpirationsgröße im dunstgesättigten Raume betrachtet.

Die Sorauer-Kohl'sche Theorie ist unhaltbar; denn erstens muß es als erwiesen angenommen werden, daß auf die Transpirationsgröße die blauen und die violetten Strahlen am wirksamsten sind, die zugleich für die Kohlendureassimilation am wenigsten leisten; zweitens wird nach den Untersuchungen von Wiesner, Comes, Bonnier-Mangin und Henslow auch in chlorophyllfreien Pflanzen und Pflanzenteilen die Transpiration infolge Lichtabsorption in den Geweben erhöht. Die Sorauer-Kohl'sche Annahme ist auch nicht imstande zu erklären, warum z. B. blaue Blüten im gelben Lichte stärker transpirieren als im blauen, gelbe Perianthien im blauen stärker als im gelben, während diese Erscheinung nach Wiesner und Comes sofort klar wird. Daß indessen die Transpiration außer durch die Exstinktionswärme auch durch die Oxydationswärme und die Einstrahlungswärme erhöht werden muß, ist selbstverständlich.

Hesselmann zitiert eingehende Untersuchungen, welche H. Brown zusammen mit Escombe ausgeführt hat (Address to the chemical section of the British Association for the advancement of science; Dover 1899. — Ref. Bot. Ztg. 1900 S. 70). An der Sonnenblume fand Brown, daß deren Blätter an einem sonnenklaren Augusttage von der gesamten Energie des einfallenden Lichtes 28 Proz. absorbierten; davon wurden 27,5 Proz. für Transpiration und nur 0,5 Proz. für Assimilation verwendet. Im diffusen Lichte betrug die Absorption 95 Proz.; hiervon standen 92,3 im Dienste der Transpiration und 2,7 im jenem der Assimilation. Das Verhältnis der bei der Transpiration und der Assimilation verwendeten Energiemenge war somit im Sonnenlichte gleich 55:1, im diffusen Lichte ungefähr wie 34:1. In dieser, von Brown-Escombe gefundenen Tatsache, daß vom diffusen Lichte ein relativ viel größerer Anteil an Energie zur Assimilation verwendet wird, als im Sonnenlichte und daß in letzterem ein relativ großer Anteil der Transpiration dient, spricht sich einerseits die von Wiesner mehrfach nachgewiesene große Bedeutung des diffusen Lichtes auf das Leben der (grünen) Pflanze aus, andererseits stützt sie die von demselben Forscher erkannte Wirkung der vom Chlorophyll absorbierten Energie des Sonnenlichtes auf die Transpiration (näheres darüber außer den zitierten Transpirationsarbeiten Wiesner's in dessen Untersuchungen über Phytophotometrie, Lichtgenuß der Pflanzen, photochemisches Klima, Anpassungen der Blätter an die Lichtstärke in: Sitzber. d. k. Akad. der Wissensch. Wien, Bd. CII, 1893, Bd. CIV, 1895, Bd. CIX, 1900; Denkschriften Bd. LXIV, 1896, Bd. LXVII, 1898; Biolog. Zentralbl. Bd. XIX, 1899, Bd. XXI, 1901).

### XIII. Einfluß der Lufttemperatur.

Transpirationssteigerung der Pflanze bei Temperaturerhöhung der umgebenden Luft beobachteten schon Mariotte, Hales und Guettard; ferner Plenk, Dutrochet, Gilbert und Lawes (39), Alex. Müller, Unger (64), Wiesner (88), Risler, Eder, Briem (128), Fr. Haberlandt (134), Comes (149), Masure, Tschaplowitz (194), Hellriegel (198), Leclerc (200), Bonnier (205), Kohl, Henslow (240), Eberdt u. A. In seiner Abhandlung über den herbstlichen Laubfall teilt Wiesner (88) die folgende Beobachtung mit: Ein beblätterter Zweig von *Celtis australis* stand, zur Ermittlung der Transpirationsgröße entsprechend adjustiert, im diffusen Lichte: hierbei betrug die abgegebene Wassermenge pro 12 Stunden bei einer mittleren Temperatur von  $4,3^{\circ} \text{C} = 0,22$ ; bei  $10^{\circ} = 1,2$ ;  $13^{\circ} = 1,8$ ;  $16^{\circ} = 3,0$  ccm.

Genauere Spezialversuche wurden dann von Aloï (263) ausgeführt. Derselbe verschloß (vgl. Fig. 16) ein mit der bewurzelten Topfpflanze in Verbindung bleibendes Blatt luftdicht in einen Glaszylinder; dieser war geneigt und enthielt ein in derselben Richtung axial laufendes Rohr, durch welches (kaltes oder warmes) Wasser geleitet werden konnte, so daß es möglich war, die Temperatur in der unmittelbaren Umgebung des Blattes fast konstant zu erhalten. Zur Ermittlung der evaporierten Wassermenge war ein Schälchen mit gewogenem Chlorkalzium im Glaszylinder eingeschlossen; außerdem ein Thermometer. Beispielsweise betrug die Verdunstung (V) für *Amaryllis Belladonna* pro qcm Fläche in Milligramm:

Lichtabschluß	T = 14,9	V = 15	T = 38 <sup>o</sup> C	V = 30
Diffuses Licht	T = 14,9	„ 31	T = 35 <sup>o</sup>	„ 50
Direkte Sonne	T = 28,0	„ 73	T = 42 <sup>o</sup>	„ 104

Aus diesen Zahlen ergibt sich gleichzeitig der fördernde Einfluß des Lichtes auf die Transpiration.

Über die Wirkung von Änderungen der Lufttemperatur auf die Wasseraufnahme haben Kohl und Eberdt Untersuchungen angestellt. Der erstgenannte Autor erwärmte durch Einführung eines an dünnem Draht befestigten, mit stark erhitztem Sand gefüllten Glaseröhrchens (vgl. Fig. 4) die Luft unter der Glocke seines „Transpirationsapparates“, in der sich die Pflanze (*Nicotiana Tabacum*) be-

fand, rasch um 5—10 Celsiusgrade und notierte die Zeit (in Sekunden), die zuerst bei der Zunahme, dann bei der Abnahme der Luftwärme zur Absorption einer Wassersäule von zwei Teilstrichen (am Apparate) notwendig war. Im ersten Falle war hierzu weniger, in letzterem mehr Zeit notwendig. Eberdt wiederholte die Versuche Kohl's mit der Modifikation, daß er unter die Glocke des „Transpirationsapparates“ mittels eines Glasrohres erhitzte Luft leitete, deren relative Feuchtigkeit 6—8! Proz. betrug. Meine Resultate, sagt Eberdt,

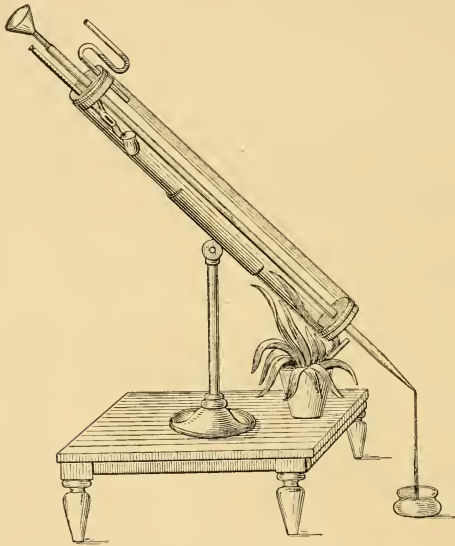


Fig. 16.

Apparat von Alois zur Bestimmung des Einflusses der Lufttemperatur auf die Transpiration.

unterscheiden sich von denen Kohl's nicht im geringsten; mit Erhöhung der Lufttemperatur war ein Steigen, mit Erniedrigung der Lufttemperatur ein Sinken der „Transpiration“ (bei *Mercurialis perennis* und *Asclepias cornuti*) verbunden.

Senebier und Miquel schreiben der Luftwärme einen nur geringen Einfluß auf die Transpiration zu; ebenso De Candolle auf die „exhalation aqueuse“. Meyen sagt in seiner Pflanzenphysiologie (II. Bd. S. 96): „Nicht die Wärme sondern die Grade der Trockenheit der atmosphärischen Luft bestimmen die Ausdunstung der Pflanzen“.



Um den Einfluß höherer Temperaturen auf den Wasserverlust von Äpfeln kennen zu lernen, setzte Just geschälte und auch ungeschälte Früchte sechsundneunzig Stunden lang einer allmählich steigenden Temperatur aus. Bei den geschälten Äpfeln war das Maximum der Verdunstung (Chlorkalziummethode) infolge Bildung einer Schutzhülle aus den eintrocknenden äußeren Parenchymzellen schon bei  $46^{\circ}$  C erreicht, während bei den ungeschälten Äpfeln erst bei  $83^{\circ}$  eine Abnahme der Verdunstung eintrat, also bei einer Temperatur, bei der die Äpfel schon halb gebraten sein mußten. Tschaplowitz (141) teilt eine längere Versuchsreihe mit in Wasserkultur gehaltenen Weißbuchen mit, durch die er zeigen wollte, „daß die strahlende Wärme mehr leistet als die zugeleitete“, vergaß aber, wie er selbst gesteht, die Einzeltemperaturen genauer zu notieren. Unverständlich ist mir sein Ergebnis: „Die Wärme ist der ursächliche und die strahlende Wärme wesentlich der regulierende Faktor der Verdunstung.“ Als Kuriosum zitiere ich noch das Resultat von Guppenberger: „Hohe Temperatur scheint bei zarten Kräutern die Transpiration zu hemmen, bei stärkeren Kräutern und bei Holzpflanzen zu fördern.“

Im Winter 1859—60 machte Sachs (59) die Beobachtung, daß sich gewisse Topfpflanzen, wie Grünkohl und Winterraps, die in einem ungeheizten Zimmer standen, bei einer Temperatur von  $+2$  bis  $4^{\circ}$  R frisch erhielten, während andere, wärmeren Klimaten zugehörige Gewächse, wie Tabak, Kürbis, Schminkbohne schlaff und welk wurden, trotzdem ihre Topferde beinahe noch mit Wasser gesättigt war. Sachs lieferte zugleich den experimentellen Nachweis, daß das Laub der letztgenannten Pflanzenarten bei Temperaturen von wenigen Graden über Null noch ziemlich stark transpiriert, während die Wasserbewegung in den Wurzeln bei denselben Wärmegraden schon in hohem Grade herabgesetzt erscheint. Wurde nämlich die Temperatur der Topferde, in passender Weise auf  $12$ — $15^{\circ}$  R und damit auch die Wurzeltätigkeit erhöht, während die Lufttemperatur in der Umgebung der transpirierenden Teile ebenso niedrig blieb als vorher, so wurde das bereits welke Laub nach  $1$ — $2$  Stunden wieder turgescent. Andererseits unterblieb das Welken bei jenen dem Nullpunkte nahen Wärmegraden durch vierzehn Tage hindurch, wenn die Transpiration der Blätter durch übergestülpte Glasglocken ganz oder nahezu sistiert wurde. Man muß also schließen, daß das Welken von Tabak-, Bohnen-, Kürbis- und anderen Pflanzen (z. B. *Plectranthus fruticosus* nach Molisch) knapp über dem Gefrierpunkte des Wassers trotz genügender Bodenfeuchtigkeit sich daraus erklärt, daß die oberirdischen Teile, namentlich die Blätter, bei jenen Lufttemperaturen mehr Wasser abgeben als gleichzeitig die Wurzeln bei (etwa) derselben Bodentemperatur aufzunehmen und osmotisch zu leiten imstande sind. Im XVIII. Kapitel: (Einfluß der physikalischen Beschaffenheit

des Bodens auf die Transpiration) werde ich auf diese Erscheinungen noch zurückkommen.

Daß lebende Pflanzen bei Wärmegraden, die nahe dem Nullpunkte des Thermometers liegen, durch Transpiration größere Wassermengen verlieren können als man vielleicht von vornherein annehmen würde, zeigte Kusano für sempervirente Coniferen und Laubbölzer der japanischen Flora. Aus den zahlreichen, diesbezüglichen Beobachtungen, die der genannte Forscher im botanischen Institute der Universität Tokio ausgeführt hat, sei nur eine Serie hervorgehoben, welche die Zeit vom 17.—24. Januar umfaßt. Die mittels eines modifizierten Mac-Dougal'schen Potometers ermittelte „Transpirationsgröße“ betrug für verschiedene Laubbölzer (*Eriobotrya japonica*, *Fatsia japonica*, *Pittosporum Tobira*, *Quercus glauca*, *Ternstroemia japonica*, *Thea japonica* etc. in 24 Stunden: pro qdm Oberfläche 0,33—0,90 g; pro 100 Gramm Frischgewicht: 9,8—39,7 g; pro 100 Gramm Trockensubstanz: 15,7—82,9 g [Temp. Minimum —0,8 bis —5,9° C; Maximum 6,3 bis 10,5°; Medium 0,7 bis 3,1° C; relat. F. 39—74 Proz.]. Ferner konstatierte Wulff (361) während seines Aufenthaltes auf Spitzbergen eine durch die Kobaltprobe deutlich nachweisbare Transpiration der dortigen Gewächse bei etwa +2 Grad. Konkrete Zahlen über die Größe des Wasserverlustes bei Temperaturen unter Null wurden von Wiesner u. Pacher für blattlose, peridermbesitzende, 1—3jährige Zweigstücke von *Aesculus*, *Quercus* und *Taxus* (bis —13° C), von mir für beblätterte, einjährige *Taxus*zweige nach der Methode der direkten Wägung gewonnen. Bei meinen Versuchen betrug die Transpiration von mit der Schnittfläche in Wasser stehende *Taxus*sprossen: T. +12° = 0,95; +1° = 0,67; —2° = 0,29; —5,2° = 0,13; —6,2° = 0,09; —10,7° = 0,02 Proz. des Zweigleibendgewichtes.

Über den Einfluß der dunklen Wärmestrahlen auf die Transpiration besitzen wir mehrere Arbeiten, von denen aber nur die Untersuchungen von Wiesner vollwertig sind; denn der Versuch von Daubeny war nicht exakt, jener von Dehérain ist nach meiner Überzeugung wertlos; Vesque und Eberdt mögen sorgfältig experimentiert haben; sie ermittelten jedoch nicht die Transpiration, sondern die Wasserabgabe ihrer Pflanzen. Ich beginne deshalb mit Wiesner (127). Sechzehn Versuchsreihen mit gesunden bewurzelten Maispflänzchen und mit beblätterten Zweigen von *Taxus baccata* führten übereinstimmend zu dem Resultate, daß die dunkeln Wärmestrahlen einen fördernden Einfluß auf die Wasserverdunstung der Pflanze ausüben und daß die Wir-

kung derselben im Vergleich zu den leuchtenden und ultravioletten Strahlen des Spektrums bei Anwendung des Gaslichtes (in dem sich die Menge der leuchtenden Strahlen zu jener der dunklen nach Tyndall wie 4:96 verhält) eine stärkere ist, als im Sonnenlichte. Die entsprechend adjustierten Transpirationsapparate standen unter geräumigen, doppelwandigen Glasglocken; diese selbst waren zur Vermeidung der Bildung eines sehr feuchten Raumes und zur Ermöglichung des Luftwechsels auf 3—5 cm hohen Holzstücken aufgestellt. Gegen die Lichtquelle zu waren die Pflanzen vor der Wirkung des reflektierten Lichtes durch Pappschirme, welche die Holzpflocke etwas überragten, möglichst geschützt. Für jede Versuchsreihe wurden drei gleiche Doppelwandglocken verwendet; die eine war mit Schwefelkohlenstoff, die zweite mit einer konzentrierten Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff, die dritte mit einer Lösung von Thonerdekalialaun gefüllt. Die erste ließ Licht- und Wärmestrahlen, die zweite nur dunkle Wärme, die dritte hingegen die leuchtenden (und ultravioletten) Strahlen durch. Aus den durch direkte Wägung der Pflanzen gewonnenen Zahlen ergab sich nach entsprechenden Umrechnungen, daß unter den sonstigen Bedingungen des Experimentes von der Gesamtwirkung des Lichtes bei der Transpiration auf die dunklen Wärmestrahlen im Sonnenlichte etwa 21 Proz., im Gaslichte etwa 79 Proz. entfallen.

Bei dem erwähnten Versuch von Daubeny kamen zwei Exemplare von *Lavatera arborea*, die in freier Luft nahezu gleiches Transpirationsvermögen zeigten, unter je einen Zinkkasten; in den einen (a) trat natürliches Licht durch eine Flasche mit Tintenwasser, in den anderen durch eine Flasche, die eine Lösung von Kupferoxydammoniaksulfat enthielt. Nach zweistündiger Sonnenexposition (Temp. 43—49° C.) betrug die (aus der Gewichtszunahme konzentrierter Schwefelsäure bestimmte) Wassermenge pro Stunde für a = 150 grains für b = 162 grains. Da das Tintenwasser nach Daubeny die Strahlen des ganzen Spektrums in gleichem Grade absorbierte, so kommt der hohe Transpirationswert von a auf Rechnung der Wärmestrahlen des Lichtes. Die Versuche sind wohl nicht exakt, da die Diathermansie und Diaphanie des Tintenwassers nicht genau bestimmt wurde, und zum Vergleiche Kupferoxydammoniak verwendet wurde, das bekanntlich nur die stärker brechbare Spektralhälfte transmittiert; es ist jedoch zu beachten, daß Daubeny's Arbeit im Jahre 1836 erschien.

Daß Dehérain (79) als 24stündige Transpirationsgröße eines Kornblattes, das von einem Lichte getroffen wurde, welches eine Lösung von Jod in Schwefel-Kohlenstoff passiert hatte, den minimalen

Wert von einem Milligramm erhielt, erklärt sich aus der Art seiner Versuchsanstellung, bei welcher das Blatt in einer Glasröhre eingeschlossen war, dessen Inneres sehr bald mit Wasserdampf erfüllt sein mußte. Während also Dehérain den Einfluß der dunklen Wärmestrahlen auf die Transpiration im dunstgesättigten Raume man kann sagen gleich Null fand, kam Vesque (126) zu dem Ergebnis, daß dieser Einfluß ein sehr wirksamer sei. „Les rayons calorifiques obscurs agissent d'une manière très énergique sur la transpiration dans l'air saturé“ sagt dieser Autor; in Wirklichkeit bestimmte er aber nicht die Transpiration, sondern die Wasseraufnahme. Er näherte nämlich seinen Versuchspflanzen (abgeschnittene Sprosse von *Fuchsia syringifolia* und *Eupatorium adenophorum*, bewurzelte Steckreiser von *Veronica spectabilis*), die sich in einem einigermaßen komplizierten Apparat befanden, der in einem mit schwarzem Papier austapetiertem Kasten aufgestellt war, eine erhitzte Kupferplatte auf verschiedene Entfernungen und notierte jedesmal die Zeit, die notwendig war, „pour absorber un centigramme d'eau“.

Eberdt benutzte einen Apparat, der nach seiner Beschreibung im wesentlichen mit dem Kohl'schen übereinstimmt und notierte die Zeitintervalle, innerhalb welcher sich die Wassersäule im „Transpirationsapparate“ um je 5 Teilstriche verkürzte. Die Versuchspflanzen (bewurzelte *Mercurialis perennis* und *Asclepias Cornuti*) standen so vor dünnwandigen, mit konzentrierter Alaun- resp. Jodschwefel-Kohlenstofflösung gefüllten Glasflaschen, daß die transpirierenden Teile vollständig von dem durch die Alaunlösung gehenden und dabei der Wärmestrahlen beraubten Sonnenlichte, resp. von den die Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff passierenden dunklen Wärmestrahlen getroffen wurden. Es ergab sich, daß die „Transpiration“ sowohl in dem Falle sinkt, wenn dem direkten Sonnenlichte die Wärmestrahlen entzogen werden, als auch dann, wenn nur dunkle Wärmestrahlen auf die Pflanze einwirken können; ferner, daß die „Transpiration“ steigt, wenn zu der Wirkung des diffusen Tageslichtes noch die der dunklen Wärmestrahlen hinzutritt.

Aus dem Vorgeführten ergibt sich, daß bei der Frage des Einflusses der dunklen Wärmestrahlen auf die Transpiration nur die Untersuchungen Wiesner's maßgebend sind. Seinem Ergebnis, daß diese Strahlen die Transpiration in nicht unbedeutendem Grade beeinflussen, stimmt auch Henslow (29) auf Grund seiner Studien über den Einfluß des Lichtes verschiedener Brechbarkeit auf die Wasserverdunstung der Pflanze bei.

## XIV. Einfluß der Luftfeuchtigkeit; Wasserabgabe im dunstgesättigten Raume. 121

Es sei hier noch auf den schon S. 36 genannten Befund von Kohl und von Eberdt hingewiesen, nach welchem bei *Trianaea bogotensis* eine Verzögerung in der Apertur der Spaltöffnungen eintrat, wenn die in Wasser befindliche Pflanze von einem Lichte beschienen wurde, welches infolge Durchleitung durch eine Alaunplatte resp. durch eine konzentrierte Alaunlösung der Wärmestrahlen beraubt war.

#### XIV. Einfluß der Luftfeuchtigkeit; Wasserabgabe in dunstgesättigtem Raume.

Es ist eine längst bekannte Tatsache, daß der hygrometrische Zustand der Luft einen großen Einfluß auf die Transpiration ausübt. Hales und Guettard wußten, daß die Pflanzen bei feuchtem Wetter, insbesondere in tauigen Nächten sehr wenig Wasser verloren. Spezielle Versuche über den Gegenstand wurden von Unger, Sorauer, Masure, Hellriegel, Leclerc, Aloi und Wollny ausgeführt.

„Um den Einfluß der Luftfeuchtigkeit in seiner gesonderten Wirkung auf die Transpiration kennen zu lernen“, verwendete Unger (64) je zwei Topfpflanzen, von denen die eine in freier Luft, die andere in einer „fortwährend mit Wasserdunst geschwängerten Atmosphäre“ aufgestellt war. Auf gleiche Blattflächen reduziert, fand Unger das Transpirationsverhältnis bei *Ricinus communis* (zweitägige Versuchsdauer) gleich 10,4 : 1, für *Ranunculus polyanthemus* (siebentägige Vers. R) gleich 4,6 : 1. In den Versuchen von Sorauer (158) standen mehrere Gefäße, die Gerstenpflanzen in 0,05 Proz. Nährstofflösung enthielten, unter einer Glasglocke, durch welche mittels kontinuierlich brennender Lampen Luft aspiriert wurde, die in dem einen Falle durch eine mit nassem Bimstein, in dem anderen durch eine mit Chlorkalziumstücken gefüllte Röhre strich, bevor sie zur Pflanze gelangte. Während der 32 tägigen Versuchsdauer war die Verdunstung in feuchter Luft nicht nur absolut geringer, sondern auch pro Gramm produzierter Frisch- und Trockensubstanz, d. h. die Pflanze braucht zum Aufbau von einem Gramm Substanz in feuchter Luft dem Boden weniger Wasser zu entziehen. Ich füge noch bei, daß Sorauer eine Nachwirkung der Luftfeuchtigkeit konstatierte; dieselbe war bei Apfel- und Birnsämlingen, die nach je 6 Tagen miteinander vertauscht wurden, indem die in feuchter Luft befindlichen Pflanzen

in trockene Luft kamen, und umgekehrt, am ersten Tage nach dem Wechsel deutlich erkennbar.

Die Beobachtungen von Masure fanden in einem Garten zu Orleans mit im Freien aufgestellten Topfpflanzen von *Xeranthemum annuum* statt; sie begannen am 6. August und wurden bis 15. November fortgesetzt. Heben wir jene Perioden heraus, in denen die Morgentemperatur im Mittel zwischen 17—17,7° C variierte, so erhalten wir die nachstehende, vom Autor zusammengestellte Tabelle:

Perioden der Vegetation	Temperatur (Mittel)	R. Feuchtigkeit der Luft	Verdunstung d. Evaporimeters	Transpiration d. Pflanzen
1.—5. Sept.	17,6	75	0,93	4,96
10.—16. „	17,7	79	0,62	3,70
6.—9. „	17,4	88	0,61	2,72
30.—31. „	17,0	89	0,38	2,58
23.—25. „	17,2	91	0,25	3,40

„Ces résultats nous confirment, que plus l'air est humide, moins l'évaporation est considérable“. Die relativ hohe Transpirationsgröße 3,40 ist auch dem Autor aufgefallen; Masure's Resultate sind indes wenig exakt, denn er bestimmte durch Wägung den Wasserverlust der unverschlossenen Topfpflanze und gleichzeitig den von zylindrischen, mit Wasser gefüllten „Evaporimetern“. Durch Subtraktion des Gewichtsverlustes des Evaporimeters an dem der unverschlossenen Topfpflanze, glaubte er „avec toute l'approximation désirable le poids d'eau perdue par les plantes dans leur transpiration“ gefunden zu haben.

Es wäre indes eine irrigte Meinung, daß die Transpiration in einer sehr feuchten Luft immer nur geringwertig sein kann; denn wir wissen namentlich aus den Untersuchungen von Stahl (293), daß die Stomata vieler Pflanzen im dunstgesättigten Raume offen bleiben, und bei genügender Wasserversorgung sich am weitesten bei Besonnung und großer Luftfeuchtigkeit öffnen, so daß ein hoher Feuchtigkeitsgehalt der Luft die Transpiration unter Umständen begünstigen kann. Diese Verhältnisse finden sich besonders im feuchtwarmen Tropengebiet und Wiesner (127) hat gezeigt, welche hohen Werte die Transpiration insolierter Pflanzen bei hoher Luftfeuchtigkeit erreichen kann. Auch schon Mac Nab (93) hat beobachtet, daß direkt besonnte Blätter von *Prunus Laurocerasus* in sehr feuchter Luft viel mehr Wasser durch Transpiration verloren als in trockener.

Eines besonderen Apparates, den wir in Fig. 17 nach der Originalabbildung reproduzieren, bediente sich Hellriegel (198), um den

## XIV. Einfluß der Luftfeuchtigkeit; Wasserabgabe im dunstgesättigten Raume. 123

Einfluß der Luftfeuchtigkeit auf den Ernteertrag von Gerstenpflanzen kennen zu lernen und „ganz im allgemeinen darzutun, ob die verschiedene Feuchtigkeit der Luft in bedeutendem Grade die Verdunstung hemme oder befördere.“ Auf einen Pfosten A wurde eine 120 cm hohe Glasglocke aufgesetzt; dieselbe stand in einer eingeschnittenen Vertiefung und war am Rande mit einer Mischung von Wachs, Harz und Paraffin luftdicht verkittet. Die obere Mündung der Glocke war durch eine gebogene Glasröhre a mit der aus Zinkblech hergestellten Büchse C verbunden, die an dem von der Säule D getragenen Pfosten E angeschraubt war. In der Mitte des Büchsendeckels befand sich eine ca. vier cm weite Öffnung mit kurzem Rohrstutzen, der zum Einsetze einer 66 cm hohen Glasröhre b diente, die am oberen Ende zum Schutze gegen Windstöße eine Blechkappe trug. Der Boden der Büchse C konnte durch einen Bajonettverschluß leicht ab- und aufgesetzt werden; dadurch machte es keine Schwierigkeit, eine Petroleumlampe F in die Büchse einzuschieben oder aus derselben zu entfernen. In dem Pfosten A waren unterhalb der Glocke zwei kreisrunde Öffnungen eingesägt, von denen die größere, zentral gelegene zur Aufnahme des oberen Randes des Kulturgefäßes G bestimmt war, während durch die kleinere, seitlich befindliche die Glasröhre c geführt wurde, die den Eintritt der Außenluft in die Glocke vermittelte. Wurde die Lampe in die Büchse C eingesetzt, so entstand ein lebhafter Luftzug in der Richtung der Pfeile. Um

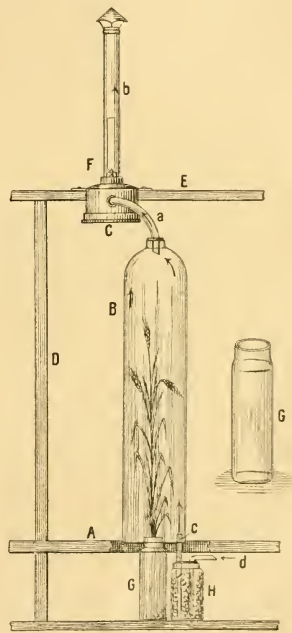


Fig. 17.

Apparat von Hellriegel zur Bestimmung des Einflusses der relativen Luftfeuchtigkeit auf die Transpiration.

die Glasglocke mit trockener oder mit feuchter Luft gefüllt zu haben, bedurfte es nur, die Eingangsröhre C mit einem Trocknungs- resp. Anfeuchtungsapparat, dem Gefäß H von etwa 2 Liter Inhalt zu verbinden. In dem einen Falle enthielt H mit Schwefelsäure getränkte Bimssteinstücke, im zweiten Falle eine 1—1<sup>1</sup>/<sub>2</sub> cm hohe Wasser-

## 124 XIV. Einfluß der Luftfeuchtigkeit; Wasseraabgabe im dunstgesättigten Raume.

schichte, in der sich ein schlangenförmig gebogener, mit Filtrierpapierstreifen dicht behängter Glasstab befand.

In der so ventilierten Glocke war die Vegetation von Gerstenpflanzen eine durchaus normale, selbst wenn diese monatelang darin verweilen mußten. Der Versuch dauerte vom 27. Juni bis 19. Juli; die Gewichtsabnahme der Gefäße (Verdunstungsgröße der Pflanzen) wurde täglich durch direkte Wägung ermittelt. Der Schlußsatz Hellriegel's lautet: „Die relative Feuchtigkeit der Luft beeinflusst die Größe der Verdunstung der Pflanzen in hohem Grade; unter Umständen kann die Wasserausgabe in trockener Luft um das Doppelte über das mittlere Maß gesteigert und in feuchter Luft um die Hälfte darunter vermindert werden.“ Beispielsweise war das Transpirationsverhältnis zweier Gerstenpflanzen a und b ohne Rücksicht auf die Luftfeuchtigkeit gleich 100:116; dagegen a (trocken): b (feucht) wie 100:71, dann a (feucht): b (trocken) wie 100:146. — Bei einem anderen Versuch a (trocken): b (feucht) gleich 100:58 (Versuchsdauer 21 Tage); dann a (feucht): b (trocken) gleich 100:157 (Versuchsdauer 7 Tage).

In der schon beim Lichtkapitel zitierten formelreichen Abhandlung von Leclerc (200) teilt der Autor auch eigene Versuche über den Einfluß der Luftfeuchtigkeit auf die Transpiration mit. Zu dessen Ermittlung wurden die grünen Teile einzelner Korn- und Weizenpflänzchen (deren Wurzeln sich in Nährstofflösung befanden), in Glaszylinder eingeschlossen, durch welche entweder sehr trockene oder sehr feuchte Luft aspiriert wurde. Die Apparate standen von 6 $\frac{1}{2}$  morgens bis 6 $\frac{1}{2}$  abends im diffusen Lichte eines Laboratoriumszimmers, die folgenden zwölf Nachtstunden in kompletter Finsternis. Leclerc gelangte zu folgender Konklusion: „La transpiration est fonction de l'état hygrométrique de l'air. Cette fonction est représentée assez exactement par l'équation:  $E = a(F - f) \pm c$ . In dieser Transpirationsgleichung bedeutet a „un coefficient variable dans chaque expériences“ F das Maximum der Dampfspannung, entsprechend der während des Versuches herrschenden Temperatur; f die tatsächliche Tension des Wasserdunstes, c eine Konstante. Sapienti sat!

Die experimentellen Untersuchungen von Aloi (263) wurden nach derselben Methode durchgeführt wie dessen Lichtversuche und bestätigten, daß Zunahme der relativen Lufttrockenheit die Transpiration erhöht. Die Versuchszylinder enthielten vergleichsweise „gewöhnliche“ beziehungsweise durch Chlorkalzium und Schwefelsäure getrocknete Luft. Beispielsweise betrug bei *Amaryllis formosissima* die Wasseraabgabe pro 100 qcm Oberfläche in a) gewöhnlicher b) sehr trockener Luft: A) Lichtabschluß a) 35, b) 65 mg; B) Diffuses Licht: a) 56,



b) 120 mg; C) Direkte Sonne: a) 361, b) 733 mg. Leider fehlt die Angabe psychrometrischer Daten. Wollny (339) findet, daß die Transpiration in einem engeren Verhältnis wächst, als der reziproke Wert der Luftfeuchtigkeit, was sich daraus erklären lasse, daß sich in trockener Luft die Pflanzen mit Schutzeinrichtungen verschiedener Art gegen zu starke Verdunstung versehen.

Aus Versuchen von Tschaplowitz (203), welche ergaben, daß eine gewisse, durch Erhöhung der Luftfeuchtigkeit herbeigeführte Herabsetzung der Transpiration die Menge der Assimilationsprodukte vermehrt, bei einer zu weit gehenden Hemmung der Verdunstung jedoch die Assimilationstätigkeit vermindert wird, kommt dieser Autor zu dem Schlusse, daß es ein Transpirationsoptimum in dem angeführten Sinne geben muß.

Die (im allgemeinen) sich einstellende Verringerung der Transpiration mit Zunahme der relativen Luftfeuchtigkeit haben ferner Miquel, Duchartre, Knop, Fleischmann, Eder, Briem, Haberlandt (134), Anders (145), Comes (149), Masure, Tschaplowitz (194), Bonnier und Mangin (205), Eberdt, Heinrich (384) experimentell beobachtet. — Wohl nicht ernst zu nehmen sind die Äußerungen von Risler: „Je n'ai pu constater aucune variation de la transpiration avec l'humidité de l'air“ und von Guppenberger: „Eine geringe Luftfeuchtigkeit befördert die Transpiration sehr; große dagegen scheint sie wenig oder nicht zu hemmen.“

Die Frage, ob eine lebende Pflanze in einem dunstgesättigten Raum noch Wasserdampf abzugeben vermag, wurde zu wiederholtenmalen, durch oder ohne experimentelle Prüfung beantwortet. Es hat meines Wissens zuerst Sachs (53) darauf hingewiesen, daß eine lebende Pflanze in einer mit Wasserdampf gesättigten Atmosphäre noch Wasser verlieren könne und zwar auf Kosten der durch Oxydationsprozesse gebildeten Wärme, durch welche die Tension des in den Interzellularen enthaltenen Wassergases erhöht wird. Sachs hat darauf sogar eine Methode gegründet, durch die Menge des in dunstgesättigter Luft abgegebenen Wasserdampfes die Quantität der Eigenwärme der Pflanze zu messen. Nun ist es bekannt, daß die Selbsterwärmung infolge (intensiver) Atmung in einzelnen Fällen bedeutend sein kann, wie dies beispielsweise für Aroideenkolben mehrfach gezeigt wurde; im allgemeinen ist aber die Wärmebildung bei Pflanzen doch eine geringe und es ist unwahrscheinlich, daß die ganze produzierte Eigenwärme zur Erhöhung der Transpiration verwendet wird; dazu kommt noch, daß die Pflanze infolge der Verdunstung wieder Wärme verliert. Wenn es also theoretisch richtig ist, daß eine Wasserabgabe pflanzlicher Organismen auch im absolut feuchten Raume und bei Abschluß

des Lichtes möglich ist, so wird doch dieser Wasseraustritt im allgemeinen nur minimal sein können.

Anders bei einer besonnten Pflanze. Es wurde schon früher auf die Experimentaluntersuchungen Wiesner's hingewiesen, durch welche der genannte Forscher gezeigt hat, daß mit der Lichtabsorption im Chlorophyll (oder einem anderen Zellinhaltkörper) ein Umsatz von Licht in Wärme erfolgt. Aus dieser inneren Wärmequelle ergibt sich aber nach Wiesner nicht nur die Möglichkeit, sondern auch die Tatsächlichkeit der Wasserdampfabgabe einer belichteten (insbesondere grünen) Pflanze im dunstgesättigten Raume bei gleichbleibender äußerer Temperatur.

Experimentell ist die Frage, ob und wieviel eine Pflanze (ein Pflanzenteil) im dunstgesättigten Raume transpiriert nur durch sehr rigoros auszuführende Versuche zu lösen. Denn die Wasserabgabe kann in einem kleinen Raum und in kurzer Zeit nur sehr gering sein; diese kleinen Gewichtsunterschiede können sich aber aus dem Wasserverluste während des Übertragens der Pflanze von der Wage in den feuchten Raum und aus diesem wieder auf die Wage sowie während der Manipulation der zweimaligen Wägung ergeben. In einem größeren Raum ist aber für längere Zeit die Luft in absolut dunstgesättigtem Zustande sehr schwer zu erhalten; denn steigt die Temperatur auch nur um wenig, so wird, wenn auch nur für sehr kurze Zeit, die Dunstsättigung aufgehoben; sinkt dann wieder die Temperatur, so schlägt sich Wasserdunst nieder, zum Teil auch auf die Pflanze, die dadurch eine Gewichtsvermehrung erfährt; deshalb sind auch die meisten bisherigen Versuchsergebnisse wenig beweiskräftig. So schloß Duchartre (54) aus der Tatsache, daß verschiedene Topfpflanzen, die sich durch zwei Monate unter Glasglocken befanden, nicht unbedeutende Mengen kondensierten Wassers gebildet hatten, daß die Transpiration in einer mit Feuchtigkeit gesättigten Luft unter Umständen ziemlich ausgiebig sein kann. Der Hauptgrund der beträchtlichen Wasserkondensation war eben der, daß der gesättigte Raum als solcher wiederholt nicht existierte. In einer anderen Versuchsreihe verlor eine *Veronica Lindleyana* unter einer mit Wasser abgesperrten Glasglocke in 24 Stunden in einem z. T. schwach diffusen Lichte 0,4 g an Gewicht. Temperatur 10—12 ° C! Nach van Tieghem und Bonnier (182) verloren Tulpenzwiebeln vom 15. November bis 15. Januar in freier Luft  $\frac{1}{6}$ , in gesättigter Luft  $\frac{1}{45}$  ihres Gewichtes. Wenn man nach Dehérain's Methode abgeschnittene Blätter in eine Glasröhre einschließt, und diese der Sonne exponiert, so ist es begreiflich, daß man dann einen reichlichen Beschlag von

Wassertropfen an der inneren Glaswand erhält. Zu einer gerade entgegengesetzten Ansicht als Duchartre, v. Tieghem, Bonnier, Dehérain u. a. kam Leclerc (200) auf Grund einschlägiger Versuche. In dem einen Falle befand sich eine in Nährstofflösung gezogene (und gewogene) Haferpflanze eine Stunde lang in einem Raum, der mit Wasserdampf gewiß gesättigt war, da es sogar zu einer Kondensation des Wasserdampfes kam. Hernach wurde die Pflanze nach sorgfältiger Abtrocknung (*essuyée soigneusement*) wieder gewogen. Da sich hierbei eine Gewichtsvermehrung (offenbar infolge unvollständiger Abtrocknung) zu erkennen gab, schließt der Verfasser: „la plante dans une atmosphère saturée ne transpire pas“, und fügt bei, daß die Blätter die Fähigkeit haben, Wasserdampf aus der Luft zu absorbieren. In einer zweiten Versuchsreihe wurden einjährige Roßkastanienpflänzchen (mit den Wurzeln in Nährstofflösung) in einem vom Autor näher beschriebenen Apparate einem feinen Regen ausgesetzt und die Wasseraufnahme an einem Kapillarrohre beobachtet. Da sich die Wassersäule in diesem verlängerte, statt sich zu verkürzen, so schließt Leclerc, daß keine Transpiration stattgefunden habe. Es ist einleuchtend, daß Leclerc's Experimente die Frage der Transpiration im dunstgesättigten Raum nicht entscheiden konnten.

Wie vorsichtig man bei Experimenten im „wasserdunstgesättigten“ Raume und den aus denselben gezogenen Schlüssen sein muß, zeigen beispielsweise Versuche von Knop (68), bei denen Pflanzenblätter in einem anscheinend dampfgesättigten Raume kleine Gewichtsverluste erlitten. Es zeigte sich aber, daß auch nasses Filtrierpapier und eine nasse Holztafel fast ebenso viel an Gewicht verloren, weshalb Knop die Überzeugung gewann, daß jener Raum nicht permanent mit Wasserdampf gesättigt war. Dennoch spricht sich der Autor dahin aus, daß in einer tatsächlich mit Wasserdampf gesättigten Atmosphäre die Pflanze infolge der durch Oxydationsprozesse erzeugten Eigenwärme Wasser nach außen abgeben kann.

Böhm (65) fand die Wasserabgabe beblätterter Weidenzweige im dunstgesättigten Raum gleich Null und folgert daraus, daß damit die Annahme einer Wärmequelle in der Pflanze entfällt. Seine (gegen Sachs gerichteten) „Experimente“ sind aber ebenso wenig beweiskräftig wie jene von Eder, der sich sogar zu der Behauptung verstieg, daß die Transpiration in absolut feuchtem Raum selbst bei intensiver Beleuchtung gleich Null sei. Als dritter im Bunde erscheint Volken's (239), der sich äußert: „Einige Physiologen gehen soweit, daß sie von der Möglichkeit der Transpiration im dampfgesättigten Raume sprechen; das ist doch offenbar widersinnig.“

Mit Rücksicht auf die Tatsachen, daß in der lebenden Pflanze fortwährend Oxydationsprozesse stattfinden, und daß beim Durchgang

der Lichtstrahlen durch die Gewebe ein Teil derselben in Wärme umgesetzt wird, in Anbetracht ferner der Beobachtung von Vesque (126), daß die dunklen Wärmestrahlen in gesättigter Luft sogar energisch auf die Transpiration einwirken, kann es keinem Zweifel unterliegen, daß in wasserdunstgesättigtem Raume Transpiration nicht nur stattfinden, sondern diese unter Umständen nicht ganz unbedeutende Werte erreichen kann.

---

## XV. Einfluß der Luftbewegung; Erschütterungen.

---

Die einzigen exakten Untersuchungen über den Einfluß der Luftbewegung auf die Transpiration, die zugleich als grundlegend bezeichnet werden müssen, verdanken wir Wiesner (238). Die Luftbewegung wurde entweder mittels eines um eine vertikale Achse drehbaren Rotationsapparates (den der Autor in den Sitzb. d. k. Akad. d. Wissensch. Wien, 98. Bd. 1884, S. 295 ausführlich beschrieben hat) oder mittels eines Gebläses hervorgerufen. Im ersten Falle wurde die Geschwindigkeit durch einen Tourenzähler, in letzterem mit Hilfe eines Anemometers bestimmt. Zu den Versuchen dienten verschiedenartige Pflanzen, teils bewurzelte Exemplare (Erd- und Wasserkulturen), teils beblätterte Sprosse oder einzelne Blätter; auch Internodien. Die Hauptergebnisse dieser Untersuchungen lassen sich in nachstehende Sätze zusammenfassen: Luftbewegungen, welche der in der Umgebung von Wien herrschenden mittleren Windgeschwindigkeit entsprechen (beiläufig 3 m in der Sekunde), üben auf transpirierende Pflanzenteile eine beträchtliche Wirkung aus. Physiologisch äußert sich diese Wirkung gewöhnlich in einer Steigerung, seltener in einer Herabsetzung der Verdunstung; setzt man die Transpirationsgröße der Pflanze für bestimmte Bedingungen und für ruhende Luft gleich 1, so kann die Förderung durch die Luftbewegung nach den bisher angestellten Versuchen bis auf 20 steigen und die Herabsetzung bis auf 0,65 sinken. Die größte Wirkung erzielt ein Luftstrom, der senkrecht auf das transpirierende Organ auffällt. Eine Herabsetzung der Transpiration tritt ein, wenn durch raschen und vollständigen Verschluß der Spaltöffnungen infolge des Windes die ganze stomatäre (interzellulare) Transpiration aufgehoben wird und die

epidermoidale Verdunstung nur eine geringe ist, wie z. B. bei *Saxifraga sarmentosa*. Bei einer sehr kräftigen epidermoidalen Wasserabgabe kann aber auch bei raschem Spaltöffnungsschluß eine beträchtliche Förderung der Transpiration eintreten; so wurde bei *Adiantum Capillus Veneris* die Transpirationsgröße im Winde (3 m) fast doppelt so groß gefunden als in ruhiger Luft, trotzdem sich die früher offenen Stomata unter dem Windeinfluß schlossen. Sehr stark wird die Transpiration gesteigert werden, wenn die Spaltöffnungen der betreffenden Organe selbst im Winde offen bleiben, wie dies z. B. bei *Hydrangea hortensis* von Leitgeb und von Wiesner konstatiert wurde. Aus den vielen Versuchsreihen Wiesner's (in denen die Pflanzen belichtet oder verdunkelt waren), seien nur die folgenden drei angeführt. Es betrug die Transpiration in Prozenten des Lebendgewichtes:

<i>Saxifraga sarmentosa</i> (Tageslicht)	<i>Adiantum Capillus</i> (Diffus. Licht)	<i>Hydrangea hortensis</i> (finster)
10 Min. Ruhe 1,07	5 Min. Ruhe 2,04	8 Min. Ruhe 1,63
10 „ Rotat. 0,72	5 „ Rotat. 3,88	8 „ Rotat. 6,15
10 „ Ruhe 1,00	5 „ Ruhe 2,04	8 „ Ruhe 1,63

Es sei noch auf die Beobachtung von Leitgeb hingewiesen, der an Sprossen einiger Holzgewächse (*Berberis*, *Syringa* etc.), welche während der Mittagsstunde einem heftigen Winde ausgesetzt waren, die Blattspaltöffnungen geschlossen fand.

Angeregt durch Wiesner's Untersuchungen hat Eberdt Versuche über den Einfluß bewegter Luft auf die Transpiration angestellt. Derselbe ließ auf die Versuchspflanzen (*Asclepias*, *Eupatorium*) eine mit verschiedenen Gebläsen hervorgebrachte Windgeschwindigkeit von 2, 3, 5, 6 m per Sekunde einwirken; die Pflanzenteile waren hierbei entweder frei beweglich oder fixiert. Daß „die auf Grund der Methode der Messung und die auf Grund der Methode der Wägung erhaltenen Resultate gegenseitig nicht übereinstimmen“, ist leicht begrifflich, da eben im ersten Falle die Größe der Wasseraufnahme, im zweiten Falle die der Wasserabgabe ermittelt wurde. Die nach der Methode der Wägung erhaltenen Resultate waren folgende: Im Winde wurde mehr Wasser abgegeben als in ruhiger Luft. Bei Fixierung der Pflanzenteile war die Wirkung eines gleich starken Luftstromes etwas geringer, als wenn die Teile frei beweglich waren, somit zu der Windwirkung noch Schüttelbewegung hinzukam. Die geringeren Windgeschwindigkeiten übten auf die Transpiration verhältnismäßig die größte Wirkung aus, was nach

Eberdt darin seinen Grund hat, daß die Erhöhung der Transpiration im Winde auf dem stetig wechselnden (sich verringernden) Feuchtigkeitsgehalt der Luft beruht.

Bei Versuchen, die Hellriegel (198) mit dem in Fig. 17 abgebildeten Apparate ausführte, indem er durch Vergrößerung oder durch Verkleinerung der Petroleumflamme (doppelte Flamme — halbe Flamme) einen stärkeren oder schwächeren Luftzug herstellte, ergab sich, daß die Wasserausgabe von Gerstenpflanzen allerdings durch die Stärke des Luftzuges beeinflußt wurde, daß aber „dieser Faktor den beiden anderen — Wärme und Luftfeuchtigkeit weit nachstand“.

Ich zitiere noch die Äußerungen einiger Autoren, die gelegentlich Erfahrungen über den Gegenstand gewonnen haben. Senebier: Warme Winde begünstigen die Transpiration. — Plenk: „Sehr stark ist die Transpiration bei warmen Wind.“ — Unger (43): „Einen sehr untergeordneten Einfluß besitzt die Bewegung der Luft.“ — Knop (56): Die Transpiration (einer Bohnenpflanze) war im Luftzug größer als in ruhiger Luft. — Anders: Die Luftbewegung hat einen größeren Einfluß auf die Transpiration bei klarem als bei bewölktem Himmel. — Risler: „Je n'ai pu constater aucune variation de la transpiration avec l'agitation de l'air.“ — Eder: „Durch Luftbewegung wird die Transpiration gesteigert.“

Über den Einfluß von Erschütterungen auf die Transpiration hat zuerst Baranetzky einige Beobachtungen gesammelt und auch veröffentlicht. a) Eine Inula Helenium wurde in regelmäßigen Perioden gewogen, während welcher sie bald gestoßen, bald ruhig stehen gelassen wurde; hierbei zeigte sich immer ein beträchtlich stärkerer Wasserverlust für die Perioden, in denen die Pflanze gestoßen wurde. Die Stöße müssen mit kräftiger Hand erfolgt sein, denn „in der darauf folgenden Periode sank die Transpiration plötzlich herunter, um nur nach und nach ihre ungefähre normale Größe zu erreichen“. b) Ein Aesculuszweig wurde heftig gestoßen. Wägungen ergaben, daß die Pflanze während einer auch nicht über eine Sekunde dauernden Erschütterung einen sehr starken Wasserverlust erleidet; erfolgt unmittelbar darnach ein zweiter Stoß, so ist der Gewichtsverlust viel kleiner, beim dritten merkt man gewöhnlich keine Gewichtsverminderung. Bezüglich des Einflusses schwacher Erschütterungen auf die Transpiration sagt Baranetzky, „daß dabei eine Störung im Gleichgewichte der Gewebespannung der Pflanze eintritt, welche eine Verengerung der Spaltöffnungen zur Folge hat“. Diese Behauptung kann nicht richtig sein; denn bei den sorgfältigen Untersuchungen, welche Leitgeb sowohl an isolierten Spaltenapparaten wie auch an dicken Flächenschnitten und an unverletzten Blättern angestellt hat, ist es in keinem einzigen Falle gelungen, selbst bei Vornahme stärkerer Er-

schütterungen eine meßbare Verengerung der Stomataspalten zu erzielen. Zweifellos wird, wie Wiesner ausführt, der Verschuß der Spaltöffnungen im Winde nicht durch dessen mechanische Wirkung, sondern durch die Verdunstung der Schließzellen herbeigeführt, infolge welcher der Turgor dieser Zellen sinkt und die Schließbewegung eintritt; denn an Organen, an denen der Wind die Spalten schließt, ruft rascher Wasserverlust (z. B. im Exsikator) dieselbe Erscheinung hervor. Durch zahlreiche und rel. gut ausgeführte Versuche wurden die Baranetzky'schen Beobachtungen von Schirmer geprüft und erweitert. In seiner Dissertationsabhandlung „zur Kenntnis der Transpirationsbedingungen saftreicher Pflanzen“ (deren Publikationsjahr nicht angegeben erscheint) teilt dieser Autor 38 Versuchsreihen mit, zu denen ältere und jüngere Sprosse, solche mit krautigen und mit lederartigen Blättern verschiedener Holzpflanzen, auch einzelne Topfgewächse Verwendung fanden. Die Objekte wurden (zumeist während einer Zeitdauer von drei Stunden) in Intervallen von je 15 Minuten gewogen und in der Zwischenzeit entweder ruhig belassen oder erschüttert. Die Pflanzen verblieben auf der Wage und standen zumeist im diffusen Lichte und bei fast konstanter Temperatur. Während der Erschütterungspausen war der Wasserverlust größer als während der Ruhepausen.

Die Versuche wurden verschieden modifiziert; es wechselten 2 oder 3 Ruhepausen mit 1 Erschütterungspause, 1 Ruhepause mit 2 Erschütterungspausen, 3 Ruhepausen mit 3 Erschütterungspausen etc. Beispielsweise ergab sich ein Gewichtsverlust in Decigramm: *Acer Negundo* 3, 2, (6), 2, 2, 1, (3), 1, 1, (2), 1, 0. — *Syringa Emodi* 10, (24, 13, 9), 3, (12, 9, 7), 2, (7, 5, 4). — *Rhamnus grandifolia*: (13, 8, 4), 2, 4, 3, (8, 4, 2), 1, 3, 2. (Die eingeklammerten Zahlen beziehen sich auf die Erschütterungspausen.)

Erfolgten die Erschütterungen einigemal sofort hintereinander, so nahm die Transpiration rasch ab und war nach dem 3. oder 4. Stoße gleich Null. Diese Transpirationsabnahme stellt sich der Autor so vor, „daß die Pflanze durch öfters hintereinander erfolgte Stöße die in ihr aufgespeicherte Wasser- und Luftmenge durch immer größere Streckung der Zellen so reduziert, bis immer die Gewichtsverminderung derselben gleich Null ist.“ Mir ebenso unverständlich, wie der zweite Lehrsatz Schirmer's: „Sowohl Ruhe- als Erschütterungspausen rufen im Inneren der Pflanze molekulare Störungen hervor.“

Die Resultate, welche Kohl (230) mit Hilfe seines „Transpirationsapparates“ erhalten hat, stimmen mit den „sorgfältigen Untersuchungen“ von Baranetzky nicht überein. Denn in Kohl's Versuchen trat sowohl bei ganz kurzer Erschütterung als auch bei einer solchen von

15 Minuten Dauer immer eine Akzeleration der „Verdunstung“ (recte Wasseraufnahme) ein und nach derselben stellte sich die Transpiration entweder plötzlich (Jresine Lindeni) oder mehr allmählich (Pelargonium zonale) auf dieselbe Höhe, die sie vor der Erschütterung hatte.

Die von Kohl so genannten „sorgfältigen“ Untersuchungen von Baranetzky erinnern mich an die kaustische Kritik, die A. Horwath in einer Broschüre (Straßburg 1877) über die Untersuchungen von Baranetzky, betreffend die Periodizität der Blutung krautartiger Pflanzen (Halle 1873) veröffentlicht hat.

Eberdt bediente sich des Pfeffer'schen Apparates, mittels dessen es, wie bekannt, leicht möglich ist, die Wasseraufnahme und die Wasserabgabe der Pflanze zu bestimmen. Leider ermittelte Eberdt nur die Wassereinnahme. Die mit Mercurialis, Asclepias und Malope ausgeführten Versuche faßt der Autor in folgende Sätze zusammen: 1. Die Erschütterungen wirken nicht als Stöße auf die Pflanze ein, sondern durch die in ihrer Folge auftretenden Veränderungen der das transpirierende Organ umgebenden Atmosphäre. 2. Sehr schwache Erschütterungen üben auf die „Transpiration“ keinen Einfluß aus. 3. Infolge dauernder Erschütterungen tritt immer eine Akzeleration der Verdunstung ein. Ich erwähne hier noch eine Angabe von Schinz, nach welcher „durch Versuche leicht nachgewiesen werden kann, daß das Zittern des Espenlaubes eine Steigerung der Transpiration vermittelt.“

---

## XVI. Einfluß des Luftdruckes.

---

Daß der Austritt des Wasserdampfes aus der Pflanze um so leichter stattfinden wird, je kleiner der äußere Luftdruck ist, leuchtet von selbst ein. Direkte Versuche über den Einfluß des Luftdruckes auf die Transpiration sind nicht angestellt worden. Sprengel (19) teilt mit, daß Alpenpflanzen wegen der dünneren Luftschichten stärker verdunsten und deshalb gewürzhafter werden, und Schuhmacher (Physik der Pflanze 1867) meint, daß in bedeutenden Höhen über dem Meere infolge des schwächeren Luftdruckes und der stärkeren Luftströmungen die Transpiration der Pflanzen in ganz außerordentlicher Weise befördert wird; daß diese starke Verdunstung eine der



Ursachen sei, weshalb dort die Bäume äußerst langsam wachsen, beweise die Feinheit der Zellen und Gefäße des Holzes. Dies erinnert mich an die einmal von Böhm ausgesprochene Ansicht, daß das Saftsteigen in den Bäumen durch den äußeren Luftdruck bewirkt wird. Ich weiß jetzt nicht, was Böhm auf den Einwurf eines bekannten Physiologen, es sei dann gewiß merkwürdig, daß gerade die höchsten Bäume (Wellingtonien) in Luftschichten von fast 2000 m über dem Meere gedeihen, geantwortet hat.

## XVII. Einfluß ätherischer Öle. — Ätherwirkung.

Tyndall hat gezeigt, daß eine Luftschicht, die mit den Dünsten eines ätherischen Öles erfüllt ist, eine geringere Diathermansie besitzt, als reine Luft. Volkens (323) hat dann darauf hingewiesen, daß eine kräftige Ausscheidung flüchtiger Öle bei einer Reihe von Wüstenpflanzen vorkommt; infolge der Wärmeabsorption der ölreichen Luftschicht wird die Wirkung der Insolation auf die Pflanze und dadurch ihre Wasserabgabe vermindert. Für die Richtigkeit dieser Ansicht sprechen die von Dixon (330) ausgeführten Versuche, nach denen die Transpiration von beblätterten Syringa- und Cytisuszweigen herabgesetzt wurde, sobald sich dieselben in einer Luft befanden, die von den von Artemisia Absinthium stammenden Exhalationsprodukten erfüllt war. Dixon erklärt die Verdunstungsretardierung als Folge des Eindringens des ätherischen Öles in die Interzellularen. Wahrscheinlich wirkten beide Umstände zusammen, nämlich der Eintritt der Öldämpfe in die Interzellularen und die Verminderung der Diathermansie der äußeren Luft.

Der Volkens'schen Ansicht über die Bedeutung der ätherischen Öle als Transpirationsschutz ist in neuester Zeit C. Detto entgegengetreten. Auf dessen Deduktionen werden wir noch im XXVII. Kapitel zurückkommen, führen aber schon hier seine Versuche an. Bei Sprossen von Syringa vulgaris und Impatiens glandulifera wurden alle Blätter bis auf zwei nebeneinanderstehende abgetrennt und dann der eine in eine mit einer Glasplatte bedeckte Kristallisierschale eingeschlossen, die normale Luft führte, der andere in eine solche Schale, die flüssiges Thymianöl enthielt. Durch die Kobaltprobe konnte kein

Unterschied in der Transpirationsgröße der Vergleichsblätter wahrgenommen werden. Dies ist ganz begreiflich, denn das Kobaltpapier ist zur Konstatierung sehr kleiner Transpirationsunterschiede (durch Wahrnehmung der Farbenänderung durch das Augenmaß) nicht gut verwendbar; daß aber hier die Differenz nur minimal sein konnte, ergibt sich aus der Versuchsanstellung, bei der je ein Blatt in einem sehr kleinen, bald dunstgesättigt gewordenen Raum eingeschlossen war. Wahrscheinlich überzeugt von der Geringwertigkeit dieser Experimente, entschloß sich Detto zur direkten Wägung. Zwei annähernd gleich große, an demselben Sprosse gewachsene Syringablätter wurden in mit Wasser gefüllte, durch Olivenöl gedeckte Gläschen eingestellt. Diese kamen dann auf einen Teller und wurden mit einer Glasglocke bedeckt; unter der einen Glocke befand sich zugleich ein Uhrsälchen mit Menthaöl. Detto veröffentlicht zwei Versuchsreihen, auf die wenigstens ich gleichfalls nicht viel Wert lege; denn: 1. wurde mit einzelnen Blätter gearbeitet, die sich in einem der Sättigung nahem Raume befanden; 2. verhielten sich die Vergleichsblätter schon a priori sehr ungleich; denn deren Transpiration betrug noch vor der Einwirkung des ätherischen Öles in vier aufeinanderfolgenden Stunden bei Blatt I: 60, 30, 35, 0 mg, bei Blatt II: 55, 65, 30, 5 mg; 3. wurden die Versuche fortgesetzt, nachdem bereits eine deutliche Schädigung durch den Öleinfluß ersichtlich war; 4. ergaben die beiden Versuchsreihen ganz verschiedene Resultate. Dagegen bestätigte eine mit Phaseolus-Topfpflanzen durchgeführte Versuchsreihe die schon von Dixon gefundene Depression der Verdunstung bei Einwirkung der Dämpfe des ätherischen Öles. Es war nämlich das Transpirationsverhältnis der Vergleichspflanzen A und (B) in je zwei aufeinanderfolgenden Stunden, jenes für die beiden ersten Stunden gleich 100 gesetzt, am ersten Tage: 100 (100); 62,0 (65,3); 31,0 (34,7); 28,6 (24,6); am zweiten Tage: 100 (100); 63,3 (52,3); 47,1 (34,1); 42,0 (38,6); am dritten Tage: 100 (100); 54,5 (45,9); 15,8 (14,9). Die fetten Zahlen beziehen sich auf die Zeit der Öleinwirkung bei (B). Wenn Detto angibt „daß die Öldämpfe eine merkliche Herabsetzung der Transpiration nur bei gleichzeitiger Schädigung der Blätter bewirkten“, so ist das nicht ganz richtig, denn die Herabsetzung der Verdunstung trat schon ein, als die Blätter, wenigstens äußerlich, keine Schädigung zeigten.

Man weiß aus Versuchen von Claude Bernard, daß Anästhetika, wie Äther oder Chloroform, der Pflanze in konvenabler Menge gegeben, die Kohlensäurezerlegung sistieren. Aus Versuchen von Jumelle (254, 255) geht hervor, daß gleichzeitig die Transpira-

tion verstärkt wird. Derselbe experimentierte mit Blättern von *Quercus*, *Ostrya*, *Fagus*, *Solanum* und bestimmte für jeden Fall die Ätherdosis, welche die Assimilation sistiert, ohne die Pflanze zu töten. Auf dasselbe Trockengewicht bezogen, war die Transpiration der ätherisierten Blätter im Lichte viel größer, im Finstern viel kleiner als die der nicht ätherisierten Blätter. Dieser Befund wäre nach Jumelle leicht zu erklären: Indem nämlich durch die Ätherisierung die Assimilation sistiert wird, kommt bei der belichteten Pflanze die ganze Energie der vom Chlorophyll absorbierten Lichtstrahlen der Transpiration zugute. Nach Versuchen von Schneider (284) mit ganzen Pflanzen und mit Blattabschnitten von *Solanum tuberosum* im Finstern, im diffusen Licht, im vollen Sonnenlichte sowie unter Einwirkung von Sonnenstrahlen bestimmter Brechbarkeit retardiert Äther die „Transpiration“ unter allen Bedingungen. Eine erhöhte Wasserdampfabgabe bei anästherisierten Pflanzen erfolgt nach Schneider nur dann, wenn die Gewebe durch das Anästhetikon getötet werden, in welchem Falle man es aber mit einer (rein physikalischen) Evaporation und nicht mit Transpiration zu tun hat.

Eine eingehende Kritik der Schneider'schen Versuche gab Woods (286). Vor allem bemerkt er, daß sich Schneider einer Täuschung hingab, in der Einbildung, daß die von den Wurzeln aufgenommene Wassermenge das Transpirationsquantum repräsentiere; Schneider bediente sich nämlich eines „modified and improved Kohl transpiration apparatus“. — Während sich ferner Jumelle besondere Mühe gab, jedesmal die Äthermenge zu finden, durch welche die Assimilation sistiert, die Pflanze aber nicht getötet wurde, gebrauchte Schneider diese Vorsicht nicht. „I took no special notice of the amount of anesthetic used because I soon found, that the effect was the same independant (?) of the quantity used“. Unrichtig ist die Behauptung Schneider's, daß sich Jumelle mit Verschaffelt in eine Kontroverse über die Wirkung des Äthers auf die Transpiration eingelassen habe, da Verschaffelt's den Einfluß des Kohlensäuregehaltes der Luft und nicht den des Äthers auf die Transpiration geprüft haben. Woods (286) ätherisierte in Töpfen ausgepflanzte Moosrasen (eine großblättrige *Mnium*-Art). Wurden diese dann in gewöhnliche Luft gebracht, so rollten sich die Blätter rasch ein und begannen zu vertrocknen, nicht nur in der Sonne, sondern auch im diffusen Licht und im Finstern, während die nicht narkotisierten Vergleichspflanzen durch den Wasserverlust nur sehr leicht affiziert wurden. Nach Beendigung des Versuches erwiesen sich die

ätherisierten Moose noch lebensfähig. Im Lichte wie im Dunklen wächst also nach Woods der Wasserverlust der Pflanze, wenn die Aktivität des Protoplasmas abnimmt. Ob diese Versuchsergebnisse den Autor zu dem Ausspruch berechtigen „the transpiration is nothing more than evaporation“ ist allerdings fraglich.

Mittels eines eigenen Apparates ermittelte Dixon (330) die Transpirationsgröße von Sprossen (*Syringa*, *Laburnum*) und gleichzeitig die Verdunstung einer freien Wasserfläche in der Luft und in verschiedenen Gasen. Hierbei ergaben sich a) für die Transpirationsgröße der Zweige, b) für die Verdunstung des Wassers, den Wert für atmosphärische Luft gleich 100 gesetzt, im Mittel: Äther a) 82, b) 81; Chloroform a) 66,5, b) 59. Es wird somit in einer Luft, die Äther oder Chloroform enthält, nicht nur die Transpiration, sondern und zwar in fast demselben Maße auch die Verdunstung einer freien Wasserfläche deprimiert.

Im Botan. Zentralbl. 76. Bd. p. 135 wird auf einige Umstände hingewiesen, die Dixon entgangen sein dürften: Je nach dem spezifischen Gewichte werden die einzelnen Gasarten verschieden schnell in die Interzellularen hineindiffundieren; innerhalb bestimmter Zeitgrenzen wird also die Gesamtwirkungsdauer verschieden sein; ferner ist zu beachten, daß die Diffusionsgeschwindigkeit eines Gases abhängig ist von der Natur jenes anderen Gases, das den Raum, in welchen ersteres hineindiffundiert, ausfüllt. Wasserdampf diffundiert z. B. in Kohlensäure langsamer als in Sauerstoff.

---

## XVIII. Einfluß des Wassergehaltes und der Temperatur des Bodens.

---

Schon Hales beobachtete bei der Sonnenblume eine größere Wasserabgabe, wenn der Boden reichlicher begossen war. Auch Risler und Böhm (163) fanden, daß sich die Transpiration ihrer Versuchspflanzen nach Bewässerung des Bodens vermehrte und sich wieder in dem Maße verminderte, als der Wassergehalt des Bodens abnahm. Genaueres über die Beziehungen zwischen Feuchtigkeit des Bodens und Verdunstungsgröße der Pflanze ermittelte Fittbogen (98). Die Untersuchungen machte er an Haferpflanzen, die in mit Erde

gefüllten Gläsern bei Verhinderung der Bodenverdunstung (durch zentral gebohrte, gut schließende Korke) von Mitte April bis Mitte August im Gewächshause sich entwickelten. Der anfängliche Wassergehalt des Bodens wurde durch Nachgießen von destilliertem Wasser nahezu gleich erhalten. Hierbei ergab sich, daß im allgemeinen die Transpiration mit der Zunahme des Bodenwassergehaltes stieg; ferner, daß die produzierte Trockensubstanz im Verhältnis zur evaporierten Wassermenge um so mehr zunahm, je geringer der Wassergehalt des Bodens war. Für verschiedene Forstgewächse (Laub- und Nadelbäume) stellte Th. Hartig (124) fest, daß sich die Wasserabgabe mit zunehmender Verminderung der Bodenfeuchtigkeit verkleinerte.

In der nachstehenden Tabelle bedeutet die erste Horizontalreihe die Bodenfeuchtigkeit in Prozenten der wasserhaltenden Kraft des Bodens; die zweite die (durch Wägung ermittelte) absolute Verdunstung der Haferpflanzen während der Versuchszeit (in Gramm) berechnet als Durchschnitt aus je vier Gläsern; die dritte Reihe die Menge Wassers, welche auf ein Gramm produzierter Pflanzensubstanz abgegeben wurde.

80—60	60—40	40—30	30—20	20—10
7394	5556	5715	3191	642
53 <sup>8</sup>	457	444	414	405

Damit stimmt auch die Beobachtung von Sorauer (178), nach welcher in Sandkultur gehaltene Kirsch- und Weinsämlinge unter sonst gleichen Bedingungen pro Gramm produzierter Trockensubstanz weniger Wasser verdunsteten als die in Nährstofflösung gehaltenen Vergleichspflanzen. Daß bei Zunahme der Bodentrockenheit die Transpiration retardiert wird, erklärt sich nebst anderen damit im Zusammenhange stehenden Erscheinungen schon daraus, daß die Pflanze, wie wir aus den Untersuchungen von Leitgeb wissen, bei eintretendem Wassermangel unter allen Umständen die Spaltöffnungen schließt. Dieser Spaltenschluß ist häufig schon vorhanden, bevor sich ein Welkwerden der Blätter bemerkbar macht.

Über den Einfluß der Bodenfeuchtigkeit auf die Wasserabgabe der Pflanzen stellte auch Aloi viele Versuche an, welche lehrten, daß die Transpiration bei einer „umidità normale“ geringer war als in einem „terreno molto umido“. Sollen Licht, Wärme, Luftfeuchtigkeit auf die Spaltöffnungszellen und damit indirekt auf die stomatare Transpiration einwirken, so ist nach Aloi (295, 296) eine genügende Bodenfeuchtigkeit notwendig; fehlt diese, so bleiben die Stomata geschlossen. Zu demselben Ergebnis kam Ferruzza. Nach Sten-

ström (395) kann angenommen werden, daß — extreme Fälle abgerechnet — das Verhältnis  $\frac{B}{L} = T$  für dieselbe Pflanze einen annähernd konstanten Wert hat, in welcher Gleichung B die Bodenfeuchtigkeit, L die Luftfeuchtigkeit und T die Transpiration bedeuten.

Es kommt indessen, worauf Sachs (57) zuerst aufmerksam gemacht hat, nicht so sehr darauf an, wie viel Wasser eine bestimmte Bodenart aufnehmen kann oder wie groß ihr jeweiliger Wassergehalt ist, sondern vielmehr darauf, wie viel die Wurzeln von dem vorhandenen Wasser aufzunehmen vermögen, welches bekanntlich von verschiedenen Bodenarten mit ungleicher Kraft festgehalten wird. Der genannte Autor hat es auch versucht, den prozentischen Wassergehalt des Bodens zu bestimmen, bei welchem eingewurzelte Tabakpflanzen nicht mehr imstande waren, ihm das Minimum von Wasser zu entziehen. Dies findet dann statt, wenn die Blätter in einer feuchten Atmosphäre selbst bei Nacht noch welken, wo also der Transpirationsverlust und damit der durch die Saugkraft der Wurzeln zu deckende Wasserbedarf äußerst gering ist. Unter diesen Umständen begann eine junge Tabakpflanze zu welken, als der aus Sand und Humus gemengte Boden noch 12,3 Proz. seines bei 100° bestimmten Trockengewichtes enthielt; eine andere Pflanze welkte im Lehmboden bei 8 Proz. Wasser, eine dritte im grobkörnigen Quarzsand, als dieser noch 1,5 Proz. Wasser enthielt. Da der humusreiche Sandboden 46 Proz., der Lehmboden 52 Proz., der grobkörnige Kiesboden 20,8 Proz. seines Gewichtes an Wasser durch Absorption und Adhäsion festhalten konnte, so waren von dem größtmöglichen Wassergehalte dieser Bodenarten beziehungsweise 33,7, 44, 19,3 Proz. Wasser für die Tabakpflanze disponibel.

Von den von verschiedenen Agrikulturbotanikern nach dieser Richtung hin ermittelten Werten seien nur die folgenden Daten in Kürze hier angeführt: Nach Versuchen von Heinrich (105) begannen in einem Torfboden Gerstenpflanzen bei einem Wassergehalte von 47,7 Proz., Roggenpflanzen bei 53,4 Proz. des trockenen Bodens zu welken. In Kalkboden welkten Maispflanzen bei 8,6, Saubohnen bei 12,7 Proz. Bodenfeuchtigkeit. Ad. Mayer (in Fühling's Landw. Zeitung XXIV. Bd. 1875) beobachtete das Welken von Erbsenpflanzen in Sägespänen bei 33,3, in Mergel bei 4,7 in Sand bei 1,3 Proz. Bodenfeuchtigkeit. Nach Liebenberg welkten Bohnenpflanzen in Lehm bei 10,02, in Mergel bei 6,9, in grobem Diluvialsand bei 1,2 Volumprozenten der Bodenfeuchtigkeit. Versuche Hellriegel's (198) mit Bohnen, Erbsen, Lupinen etc. ergaben, daß in

Gartenerde bei starker Sonnenhitze erst eine Feuchtigkeit, die etwa 35 Proz. der wasserhaltenden Kraft des Bodens gleichkommt, den Wasserbedarf der Pflanzen wirksam zu decken vermag.

Es ist übrigens nicht zu vergessen, daß nicht nur die Wurzeln Wasser dem Boden entziehen, sondern daß auch umgekehrt trockener Boden den Wurzeln Wasser entzieht.

Wir schalten hier das Ergebnis von Versuchen ein, die Vogel (86) ausführte. Je fünf mit fettem Tonboden und mit humusreichen Kalkboden gefüllte Kästen wurden mit Samen beschickt. Für 108 Vegetationstage ergaben sich folgende Mengen (kg) an verdunstetem Wasser:

	Klee	Hafer	Weizen	Roggen	Gerste
Tonboden	17,8	21,7	20,2	20,4	19,8
Kalkboden	19,3	22,9	22,6	22,1	22,1

Der Wasserverbrauch war somit in allen Fällen im Kalkboden größer als im Tonboden.

Über den Einfluß der Bodentemperatur auf die Transpiration liegen nur wenig direkte Beobachtungen vor. Sachs (57) konstatierte bei Tabakpflanzen eine Steigerung der Transpiration bei Erhöhung der Bodentemperatur. Der Grund dieser Steigerung liegt offenbar darin, daß bei Zunahme der Bodenwärme (innerhalb gewisser Grenzen und bei gleichzeitiger genügender Bodenfeuchtigkeit) die Wurzeltätigkeit erhöht wird, wodurch mehr Wasser in die Pflanze eintritt, der Zellturgor sich vergrößert und die Wasserleitung in der Pflanze aktiver wird. Daß eine Erwärmung der Wurzeln diese zu erhöhter Wasseraufnahme veranlaßt, lehrten die Versuche von Kohl und von Eberdt. Die Pflanzen wurzelten in Wasser, dessen Temperatur von Kohl rasch, von Eberdt langsam erhöht wurde. Das Optimum der Wassertemperatur für die Aufnahmefähigkeit der Wurzeln fand Eberdt für *Mercurialis perennis* und *Asclepias Cornuti* bei etwa 27° C. Baranetzky bediente sich zur Messung der Bodentemperatur eines in Hundertstel Celsiusgrade geteilten Thermometers. Indem er ein solches Thermometer in den Blumentopf stellte, glaubte er, daß die Erde überall im Topfe dieselbe Temperatur haben würde.

Es wurde schon im XIII. Kapitel auf die Beobachtung von Sachs (59) hingewiesen, nach welcher Topfpflanzen von Kohl, Raps etc., die in einem ungeheizten Zimmer bei einer Lufttemperatur von + 4° R standen, vollkommen frisch blieben, während andere, auf wärmeres Klima gewöhnte Pflanzen, wie Kürbis oder Tabak sehr

welk wurden, trotzdem die Topferde mit Wasser beinahe gesättigt war, daß sie aber allmählich wieder turgeszent wurden, wenn entweder die Topferde (und damit die Wurzeln) erwärmt, oder wenn durch Überdecken mit einem Sturz die Transpiration sistiert wurde. Es ist klar, daß in jenem kalten Zimmer infolge der geringen Lufttemperatur die Wasserabgabe und infolge der geringen Bodenwärme die Wasseraufnahme der Pflanzen herabgesetzt wurde. Da nun z. B. *Brassica* frisch blieb, andere Pflanzen, wie z. B. *Nicotiana* welk wurden, so muß man logischerweise schließen, daß die letzteren unter den herrschenden Temperaturverhältnissen mehr Wasser durch Transpiration verloren, als ihnen durch die Wurzeln zugeführt werden konnte, während bei den frisch gebliebenen *Brassica*arten die verminderte Suktion des Wurzelkörpers noch groß genug war, um den Transpirationsverlust der Blätter zu decken. In den Leitbahnen des Stammes bewirkt eine lokale Herabsetzung der Temperatur anscheinend keine Retardierung; wenigstens trat in den Versuchen von Kosaroff (Dissert. d. Univers. Leipzig, 1897) unter sonst normalen Transpirationsbedingungen kein Welken ein, als in dem zuleitenden Stengel von *Passiflora caerulea* oder von *Lonicera sempervirens* eine Strecke von 70 cm auf 0 Grade abgekühlt war, während sich das Wurzelsystem in einem 15—20° C warmen Erdboden befand.

Daß auch die Wurzeln einer solchen Pflanze, die bei einer Temperatur knapp über Null nicht welkt, infolge der niederen Bodentemperatur langsamer Wasser aufnehmen, aber noch hinreichend viel, um ihren allerdings infolge der herabgesetzten Transpiration verminderten Wasserbedarf zu decken, wurde experimentell von Molisch (373) gezeigt. Derselbe ließ Pflanzen verschiedener Art, von denen er sich vorher überzeugt hatte, daß sie bei genügendem Wassergehalt des Bodens wochenlang einer Temperatur von 3—5° ausgesetzt, nicht welken, zur Winterszeit in ungeheiztem Zimmer ohne Begießung so lange stehen, bis die Blätter schlaff herabhingen (*Chrysanthemum frutescens*, *Campanula pyramidalis*, *Brassica Napus*, *Hedysarum coronarium*, *Chelidonium maius*). Sodann wurden je zwei gleich stark welk gewordene Exemplare ausgewählt; bei dem einen wurde der Topf in Eis gestellt und die Topferde mit Eiswasser begossen, wodurch sich diese auf einer Temperatur von 2—3° C erhielt; bei dem anderen war der Topf mit wiederholt erneuertem Wasser von 30° umgeben und auch die Topferde wurde mit solchem begossen, wodurch sich diese tagsüber auf einer Temperatur von 20—30° erhielt. Die aus dem lauen Wasser strahlende Wärme wurde auf geeignete Weise von den Blättern ferngehalten. Während nun



die oberirdischen Teile, insbesondere die Blätter der mit lauem Wasser begossenen Pflanzen in  $1\frac{1}{2}$ —5 Stunden vollkommen frisch wurden, benötigten die mit Eiswasser begossenen Exemplare hierzu beziehungsweise 10—36 Stunden. Die bei Temperaturen knapp über dem Nullpunkte nicht welkenden Pflanzen verhalten sich somit bezüglich der Wasseraufnahme unter dem Einflusse hoher und niedriger Temperatur wesentlich ebenso und nur graduell verschieden wie jene, die bei 3—5° über Null trotz genügendem Wasservorrat im Boden welken.

Guettard gibt an, daß in trockenem Boden stehende Pflanzen mehr transpirieren, als in feuchtem und auch Sprengel meint: „Gewiß dunsten Pflanzen in feuchtem Boden weniger aus als in trockenem.“ Nach Vesque (159) übt bei gewöhnlichen Feuchtigkeitsverhältnissen die Lufttemperatur durch Einwirkung auf die Transpiration einen viel größeren Einfluß auf die Absorption durch die Wurzeln aus als die Bodentemperatur.

---

## XIX. Einfluß chemischer Stoffe.

---

Viele Versuche wurden gemacht, um zu erfahren, in welcher Weise bestimmte, der Pflanze in gelöstem Zustande gebotene chemische Substanzen die Transpirationsgröße zu beeinflussen vermögen. Übereinstimmend beobachteten Senebier, Sachs (57, 58) und ich (118), daß angesäuertes Wasser die Transpiration gegenüber destilliertem Wasser erhöht; ebenso fanden Sachs und ich übereinstimmend, daß schwach alkalisch reagierendes Wasser die Wasserabgabe der Pflanze herabsetzt.

Senebier verwendete ein mit Schwefelsäure, Salzsäure oder Salpetersäure angesäuertes Wasser (einige Tropfen der Säure auf ca. 150 g Wasser), ermittelte aber nicht die Wasserabgabe, sondern die „Suktion“ durch die Schnittfläche verschiedener Zweige, deren Speziesnamen er nicht angibt. Die Sachs'schen Versuche fanden mit Kürbispflanzen statt, deren eine saures Wasser (per Liter 10 Tropfen konz. Salpetersäure) resp. alkalisches Wasser (per Liter 5 Tropfen konz. Kalilösung) aufnahm, während der Kontrollpflanze reines Wasser geboten wurde. In meinen Versuchen betrug beispielsweise die Transpiration in Prozenten des Lebendgewichtes während der ganzen (1—4 tägigen) Versuchszeit:

	Dest. W.	0,25	0,5	1,0 Proz.
Oxalsäure (Maispflanzen)	75,0	124,6	215,9	74,1
Weinsäure (Taxuszweige)	48,7	118,3	87,5	104,3
	Dest. W.	0,02	0,10	0,25 Proz.
Kali (Maispflanzen)	110,3	94,3	72,9	
Natron „	66,3	44,7	51,4	45,3

Das Transpirationsverhältnis von Pflanzen, deren Wurzeln destilliertes Wasser, beziehungsweise mit Kohlensäure imprägniertes Wasser geboten wurde, fand ich (in Prozenten des Lebendgewichtes) für *Pisum sativum* gleich 100:107, für *Vicia faba* und *Cucurbita Pepo* gleich 100:110, für *Phaseolus multiflorus* gleich 100:112 etc.

In bezug auf einzelne Salze beobachtete Senebier, daß wässrige Lösungen von Natriumsulfat, Kaliumnitrat und Kaliumtartarat eine Beschleunigung, Sachs dagegen, daß Lösungen von Ammoniumsulfat und Natriumchlorid eine Retardation der Wasserbewegung veranlaßten. Beide Autoren haben nur wenige Versuche gemacht; Senebier hat übrigens, wie schon gesagt, nicht die Wasserabgabe, sondern die Wasseraufnahme bei Zweigstücken ermittelt. Zahlreiche, verschieden modifizierte Versuchsreihen, teils mit bewurzelten Pflanzen, teils mit lignosen Zweigen wurden von mir (118) ausgeführt. Verwendung fanden zunächst 0,1—1,0 prozentige Lösungen folgender Nährsalze: Kalium-, Kalzium- und Ammoniumnitrat, Magnesium- und Ammoniumsulfat, Kaliumphosphat und Kaliumkarbonat. Im wesentlichen ergab sich hierbei auf das Bestimmteste folgendes Resultat: In sehr verdünnten (0,05—0,25 prozentigen) Lösungen einzelner Nährsalze ist die Transpiration im Vergleiche zum destillierten Wasser um so größer, je höher der Salzgehalt der Lösung ist, bis sie bei einer gewissen Konzentration (bei Mais etwa bei 2,5 Proz.) das Maximum erreicht. Dieses liegt bei alkalischen Salzen bei niedrigerem, bei sauer reagierenden bei höherem Prozentgehalt als bei neutral reagierenden Nährsalzen. Bei höherem Salzgehalt der Lösung nimmt die Transpiration der Pflanze ab, wird sukzessive der im destillierten Wasser gleich und endlich kleiner als in letzterem. Dann ist aber der Salzgehalt der Lösung in der Regel ein so großer, daß er als ein für die Pflanze ungünstiger bezeichnet werden muß. — In 0,3—0,5 prozentigen Lösungen fand ich die Transpiration in der Regel schon geringer als im destillierten Wasser. Da nun Sachs bei seinen Versuchen nur 0,33 und 0,5 prozentige Lösungen verwendete, so erklärt es sich, warum er den einzelnen Salzen eine retardierende Wirkung auf die Transpiration zuschreibt. Dies ist aber in dieser

allgemeinen Fassung deshalb nicht richtig, weil dieselben Salze bei geringerer Konzentration eine Beschleunigung der Transpiration bedingen. Bei Anwendung von Nährsalzgemischen (Nährstofflösungen) zeigten meine Versuchspflanzen stets eine geringere Transpiration als unter gleichen Verhältnissen im destillierten Wasser. Sorauer (178, 180) fand bei *Prunus Mahaleb* und *Pr. avium*, deren Wurzeln eine komplette Nährstofflösung aufnehmen konnten, wesentlich dieselbe Steigerung und Verminderung der Verdunstung je nach dem Konzentrationsgrade der Lösung, wie ich dies für einzelne Nährsalze konstatiert habe; bei Überschreitung des Konzentrationsoptimums nahmen Verdunstungsgröße und auch Trockensubstanzproduktion ab. Sorauer erklärt die Inkongruenz seiner und meiner Resultate dadurch, daß die Konzentrationsgrade, bei denen Nährstofflösungen sich wie Lösungen einzelner Nährsalze verhalten, niedriger sind, als diejenigen waren, welche ich verwendete. Übrigens fand Sorauer (193, 202) in weiteren, umfangreichen Beobachtungsreihen an Getreidepflanzen, die während acht Wochen in 0,05—1 prozentigen Nährstofflösungen kultiviert wurden, konform mit mir eine mit der Konzentration der Lösung sich steigernde Abnahme der Verdunstung. Es betrug nämlich das Transpirationsmittel aller Versuchspflanzen:

0,05 Proz.	609 g	0,5 Proz.	352 g
0,25 „	494 „	1,0 „	269 „

Ich habe meine Versuche auch in der Weise modifiziert, daß ich den Transpirationseinfluß von (0,1—1,0 proz.) Lösungen prüfte, die zwei Nährsalze in gleich großer Menge enthielten. Was speziell Maispflanzen betrifft, mit denen am meisten experimentiert wurde, so zeigte sich ein analoges Verhalten, wie es für Lösungen einzelner Salze gefunden wurde: Mit Zunahme des Salzgehaltes steigt die Verdunstungsgröße bis zu einem Maximum und nimmt mit weiterer Zunahme des Prozentgehaltes der Lösung wieder ab; die Transpirationsmaxima erreichen jedoch niemals jene Größe, die für die Verdunstung aus reinem Wasser gefunden wurde. Die Transpiration der Pflanze in Lösungen zweier Nährsalze steht sonach gleichsam in der Mitte zwischen der Transpirationsgröße in Lösungen eines — und der in Lösungen mehrerer Nährsalze. Insofern nämlich die Verdunstung in den immer höherprozentigen Lösungen zweier Nährsalze anfangs steigt und dann immer mehr und mehr fällt, stimmt sie mit dem Gange der Transpiration in Lösungen eines einzelnen Nährsalzes überein; insofern sie aber dabei niemals den Wert im destillierten Wasser erreicht, erinnert sie an die bei Nährstofflösungen gefundene Erscheinung.

Aus meinen vielen Zahlenreihen greife ich nur wenige heraus. Es betrug die Transpiration von Maispflanzen während der jedesmaligen ganzen Versuchsdauer (43—100 Stunden) in Prozenten des Lebendgewichtes beziehungsweise der Trockensubstanz, DW = Destilliertes Wasser, 0,1 =  $\frac{1}{10}$  prozentige Lösung etc.

D. W.	0,1	0,25	0,5	1,0	
78	149	108	—	—	} Kalziumnitrat
68	—	83	57	—	
118	—	229	—	93	
109	139	120	—	—	} Magnesiumsulfat
152	—	—	121	—	
113	—	—	107	78	
1104	765	895	678	—	Beide Salze.

Von älteren Beobachtungen führe ich zunächst jene von Wolf an, nach denen Feuerbohnen und Maispflanzen aus verschiedenen Salzlösungen (Kalium, Kalzium, Magnesium, Natrium — Ammoniumnitrat resp. Sulfat) mehr Wasser aufnahmen als solche von gleicher Blattoberfläche aus destilliertem Wasser. Schon im „Brunnenwasser“ war die Transpiration lebhafter als im destillierten. Es scheint, fügt Wolf bei, daß in verdünnten Salzlösungen die Wurzeltätigkeit eine größere ist, als im destillierten Wasser. Nobbe und Siegert (69), die den Einfluß von Nährstofflösungen verschiedener Konzentration auf den Gang der Transpiration prüften, kamen hierbei zu Resultaten, deren Richtigkeit mir vorzustellen ich nicht in der Lage bin. So betrug beispielsweise für Chilegerste (eine der beiden Versuchspflanzen) die transpirierte Wassermenge in destilliertem Wasser 290 ccm, bei einer 0,05 Proz. Nährstofflösung aber 4580 ccm, also das Sechzehnfache! Von 0,05 Proz. bis 0,1 Proz. stieg die Evaporation; von da bis 0,2 Proz. fiel sie; von da bis 0,3 stieg sie aber nochmals, um bei höherer Konzentration der Lösung abermals zu fallen. Mehr Beachtung verdienen die Versuche von Hellriegel (198): Gerstpflanzen wurden in gereinigtem Quarzsand gezogen und mit Nährstofflösung begossen, der eine bestimmte Menge von Kalziumnitrat zugesetzt war; hierbei ergab sich, daß mit der Abnahme der Stickstoffnahrung sich nicht nur die produzierte Trockensubstanzmenge, sondern auch die transpirierte Wassermenge verminderte. Heinrich (384) kultivierte Haferpflanzen in kompletten Nährstofflösungen verschiedener Konzentration: 0,01, 0,025, 0,05, 0,1, 0,3 Prozent. Die vom 4. Mai bis 3. September von je 30 Pflanzen verdunstete Wassermenge betrug beziehungsweise: 13,16, 20,18, 29,98, 42,11, 70,72 Kilogramm.

Durch ausgedehnte Kulturversuche mit Kornpflanzen (blé bleu) fand Davy, daß zur Produktion eines bestimmten Körnergewichtes der Wasserbedarf der Pflanze in schlechtem Boden etwa viermal so groß war als in gut gedüngter Erde. Aus den Untersuchungen von Hellriegel, Dehérain (annal. agron. 1892) und Pagnoul ergab sich gleichfalls, daß zur Produktion eines bestimmten Trockensubstanzgewichtes in einem gut gedüngten Boden viel weniger (etwa halb soviel) Wasseraufnahme notwendig ist, als in einem an Nährstoffen armen Boden.

Schon Woodward beschäftigte sich (im Jahre 1699) mit der Ermittlung der Wasseraufnahme und Wasserabgabe verschiedener Pflanzen, die mit den das Wasser aufnehmenden Teilen in geschlossenen Gläsern standen; letztere waren mit Regen- oder mit Brunnenwasser gefüllt, dem in einzelnen Fällen Salpeter oder Holzasche zugesetzt war. Seine Versuche haben indes nur historisches Interesse.

Um auch den Einfluß solcher Salze, die nicht zu den unentbehrlichen Nährstoffen der Pflanze gehören, auf die Transpiration kennen zu lernen, verwendete ich eine Anzahl von Chloriden. Hierbei zeigten Mais-, Bohnen- und Erbsenpflanzen in 0,1—1,0 prozentigen Chlornatriumlösungen denselben Gang der Transpiration wie in der Lösung eines einzelnen Nährsalzes; ähnlich verhielt sich Chlorstrontium. Bezüglich des Lithium- und Baryumchlorides gelangte ich jedoch zu keinem befriedigenden (gesetzmäßigen) Resultate.

Die Frage, wie sich einzelne Nichtthalophyten gegenüber Chloriden ernährungsphysiologisch verhalten, ist vielleicht noch nicht endgültig entschieden. So hat Sachs das Chlornatrium in sein Rezept der Nährstofflösung aufgenommen; Nobbe hält Chloride für die Buchweizenpflanze für unentbehrlich, Knop und Dworzak für entbehrlich. Nach den Untersuchungen von Wypel (Jahresber. Realgym. Waidhofen a. d. Thaya 1892) übten Kalium-, Kalzium- und Magnesiumchlorid, also Chlorverbindungen mit für die Pflanze unentbehrlichen Elementen auf die Entwicklung von Topfpflanzen (*Pisum*, *Zea*, *Phaseolus*, *Helianthus*, *Allium*, *Cuburbita*) anfangs einen günstigen, später einen schädlichen Einfluß aus. Bei Begießung der Topferde mit 0,5—1 proz. Lösungen von Ammonium-, Lithium- und Manganchlorid gingen die Pflanzen nach wenigen Tagen zugrunde. Natriumchlorid hielt in seiner Wirkung etwa die Mitte zwischen den beiden Gruppen.

Versuche über den Einfluß des Natriumchlorides auf die Transpiration und Absorption der Halophyten *Malcomia maritima* und *Alyssum maritimum* verdanken wir Ricôme. Verwendung fanden a) Pflanzen, kultiviert in normalem Boden und eingebracht in Knop-

sche Nährlösung; b) Pflanzen, gezogen auf Salzboden und eingebracht in Knopplösung; c) ebensolche Pflanzen in Knopplösung mit einem Zusatz von 1 Proz. NaCl. Die Versuche fanden im Mai-Juni in einem geräumigen, diffus beleuchteten Zimmer statt. Pro Stunde und ein Gramm Lebendgewicht der Pflanze ergaben sich folgende Werte in Milligramm:

absorbiert			transpiriert				
a	b	c	a	b	c		
Nacht	64	58	30	Nacht	59	55	24
Tag	74	66	35	Tag	91	83	59

Es zeigte sich somit, daß die Salzpflanzen weniger Wasser aufnahmen und auch weniger durch Transpiration verloren als die auf NaCl freiem Boden erzogenen, ferner, daß die ersteren in der gesalzenen Nährstofflösung weniger Wasser absorbierten und emittierten als in der ungesalzenen. Einerseits erschwert also das Chlornatrium äußerlich die Wasserabsorption durch die Wurzeln, andererseits vermindert es, wenn es in den Geweben enthalten ist, die Transpiration. Diese doppelte Konstatierung steht nach Ricôme mit der Tatsache im Einklange, daß die Pflanzen der Salzböden gegen eine sehr aktive Transpiration geschützt sind. Zum Schlusse bemerkt der Autor sehr richtig, daß man es zurückweisen müsse, die Transpiration nach der Methode der Absorption zu messen.

In 0,1—0,3prozentigen Boraxlösungen fand ich die Transpiration auffallend geringer als im destillierten Wasser; in höher prozentigen Lösungen begannen die Pflanzen schon am zweiten Tag zu welken und starben bald ab. Es ist übrigens aus den Beobachtungen von Peligot (Compt. rend. de l'acad. des sc. Paris, tom 83) bekannt, daß Pflanzen nach Aufnahme von Borsäure und borsaurigen Salzen (meist rasch) erkranken.

Nach den Erfahrungen von Cuboni wurde die Transpiration bei Aesculus, Vitis, Prunus avium durch einen dünnen Kalküberzug nachweisbar nicht gehemmt. Von vielen Sprossen der genannten Pflanzen, die sich in mit Brunnenwasser oder Nährstofflösung gefüllten, mit einem Kommunikationsrohr versehenen Gläsern befanden, wurden je zwei, die innerhalb 48 Stunden nahezu gleiche Verdunstungsgröße zeigten, ausgewählt, von diesen der eine (vorwiegend die Blattoberseiten) mit 6prozentiger Kalkmilch bespritzt, während der andere als Kontrollzweig diente. An dem Kommunikationsrohr wurde die „Transpiration“ stündlich abgelesen; die aus den Ablesungen sich ergebenden graphischen Kurven zeigten bei beiden Zweigen einen

fast parallelen Verlauf; dagegen wurde bei einigen Zweigen, deren Blätter mit einer dünnen Kollodiumschichte mit 5 Proz. Rizinusöl überzogen wurden, die normale Verdunstungstätigkeit gehemmt. Es möge noch eine Mitteilung von Tschaplowitz (194) angeführt werden, nach der Pflanzen von Phaseolus und Pisum, die teils in Topferde, teils in Nährstofflösungen gehalten wurden, nach Düngung mit Hornspähnen, sowohl in relativ feuchter wie auch in trockener Luft weniger Wasser abgaben, als die ungedüngten Exemplare.

Durch einige Versuche prüfte ich den Einfluß von Humussubstanzen auf die Transpiration. Durch 50 g humusreicher Erde wurden 500 g destilliertes Wasser filtriert; das Filtrat enthielt 0,041 Proz. organischer und 0,018 Proz. unorganischer Substanz. Mais-, Bohnen- und Erbsenpflänzchen, deren Wurzeln dieses Humusextrakt geboten wurde, ebenso Taxuszweige zeigten gegenüber den in destilliertem Wasser stehenden Vergleichspflanzen eine um 10 bis 30 Proz. geringere Wasserabgabe.

Gelegentlich meiner Untersuchungen über die physiologischen und pathologischen Wirkungen des Kampfers auf die Pflanze prüfte ich auch den Einfluß dieses Körpers auf die Wasserbewegung. Je zwei Laubspresse verschiedener Holzpflanzen (Buxus, Philadelphus, Syringa, Spiraea, Tilia, Viburnum etc.) wurden zunächst bezüglich ihrer Transpirationsgröße im destillierten Wasser verglichen. Hierauf wurde der eine Sproß in Kampferwasser (Konz. etwa 1 : 1000) gestellt, der andere verblieb als Kontrollsproß in destilliertem Wasser. Es stellte sich heraus, daß anfangs, d. i. solange die schädliche Wirkung des Kampfers auf das Plasma nicht erkennbar wird, das Kampferwasser gegenüber reinem Wasser eine stärkere Transpiration, überhaupt eine lebhaftere Wasserbewegung in der Pflanze hervorruft. Sobald aber nach einigen Tagen (je nach der Pflanzenart) die pathologische Wirkung des Kampfers sich einstellt, tritt im Kampferwasser eine Depression der Transpiration ein. Durch diese anfangs gesteigerte Wasserbewegung einer in Kampferwasser stehenden, etwas welk gewordenen Pflanze erklärt sich die von den älteren Autoren, wie Barton (Philos. Transact. soc. Philadelphia IV. 1798), Bernhardt (Römer's Archiv für Botanik, 3. Bd. 1805) u. A. angenommene stimulierende Wirkung des Kampfers.

In ihren Studien über die Giftwirkung der Metalle: Arsen, Blei und Zink auf den pflanzlichen Organismus untersuchten Nobbe, Baeßler und Will (212) auch die Veränderungen der Wasserleitungsverhältnisse bei einer mit Arsen vergifteten, in Nährstoff-

lösung gezogenen, zweijährigen Schwarzerle. Die Menge des verdunsteten Wassers wurde durch Wägung des Gefäßes samt Pflanze, die des gleichzeitig aufgenommenen Wassers aus der Niveauänderung der Nährflüssigkeit mittels eines im Original näher beschriebenen Spitzenapparates bestimmt. Nach Ermittlung der Absorptions- und Transpirationsgröße während einer sechstägigen Periode wurde die Erle in eine  $\frac{1}{30000}$  Arsen pro Liter enthaltenden Nährstofflösung übertragen. Dadurch betrug die Verminderung der Transpiration am ersten Tage 28,2, am zweiten Tage 62,9, am dritten Tage 78,8 Proz. gegenüber der früheren (normalen) Verdunstung. Noch größer war die Depression der Wasseraufnahme; nach dem dritten Tage war die Pflanze dem Tode nahe. Auch bei Maispflanzen stellte sich eine beträchtliche Verminderung der Wasseraufnahme und -abgabe nach Zusatz von arseniksaurem Kali zur Nährstofflösung ein.

In den umfassenden Untersuchungen von J. Schröder (97) über die Beschädigung der Vegetation durch Rauch prüfte dieser Autor auch den Einfluß der schwefligen Säure auf die Wasserbewegung in der Pflanze; insbesondere wurde (nach der Methode der Wägung) die Transpiration von Pflanzen, die sich in einer 0,02—0,1 Volumprozent Schwefeldioxyd enthaltenden Luft befanden, mit der Verdunstungsgröße in normaler Luft verglichen. Die Versuche, zu denen teils abgeschnittene Sprosse, teils im Boden eingewurzelte Freilandpflanzen von *Acer platanoides*, *Castanea vesca*, *Fagus silvatica*, *Quercus*, *Abies pectinata* verwendet wurden, ergaben: „1. Pflanzen, welche von  $\text{SO}_2$  getroffen werden, verlieren die Fähigkeit, normal zu transpirieren; infolgedessen werden geringere Wassermengen durch den ganzen Organismus geleitet, alle Folgen einer gestörten Wasserzirkulation müssen sich geltend machen und zuletzt geht die Pflanze ihrem Untergange entgegen. 2. Größere Mengen  $\text{SO}_2$  bewirken stärkere, geringere Mengen geringere Störungen der Wasserverdunstung. 3. Bei Gegenwart von Licht, hoher Lufttemperatur und trockener Luft wird mehr  $\text{SO}_2$  aufgenommen und tritt eine stärkere Benachteiligung der Verdunstung ein als im Dunkel, bei niedriger Temperatur und feuchter Luft. 4. Ein Nadelholz wird bei gleicher Menge  $\text{SO}_2$  noch nicht sichtbar in der Transpiration herabgesetzt, wo sich eine deutliche Einwirkung bei einem Laubholze bereits zeigt.“ Im Gegensatz zu F. Oliver, der aus anatomischen Gründen folgerte, daß die Säure nur durch die Spaltöffnungen eindringt, ist Schröder der Ansicht, daß das Gas durch die ganze Oberfläche (also auch durch die Kutikula) den Weg in das Innere der Pflanze findet.



## XX. Mykorrhiza.

---

Wir wissen, daß als Produkte der Kohlenstoffassimilation in den Blättern Stärke und Zucker nachweisbar sind. Nun hat A. F. W. Schimper (Botan. Ztg. 1885) gezeigt, daß diese beiden Assimilate gleichsam vikariierend auftreten, indem nämlich die Menge der Glykose jener der Stärke umgekehrt proportioniert ist. Stahl (363) hat daraufhin die Bezeichnungen „saccharophile“ und „amylophile“ Pflanzen vorgeschlagen. Aus den Beobachtungen von Arthur Meyer (Botan. Ztg.) und Schimper (ebenda) ergibt sich, daß trögwüchsige Pflanzen mit relativ geringer Stoffbildung in der Regel saccharophil, raschwüchsige Gewächse dagegen meist amylophil sind.

Der Vorteil der (von Stahl der Kürze halber so genannten) „Stärkeblätter“ gegenüber den Pflanzen mit „Zuckerblättern“ liegt nach diesem Autor nicht nur in der Erleichterung der Assimilation infolge Bildung und Ausstoßung fester Kohlenhydrate, wie dies bereits A. Meyer betont hat, sondern auch in der Förderung der mit der Assimilation so innig verbundenen Transpiration; denn mit der Abnahme der Konzentration des Zellsaftes ist eine leichtere Wasserdampfabgabe verbunden, während umgekehrt eine Zunahme gelöster Substanzen, z. B. von Glykose, die Neubildung organisierter Substanz erschwert; Stahl stellte sich daher vor, daß in der Gegenwart oder in der Abwesenheit von Stärke in den Zellen des Assimilationsparenchyms ein Anhaltspunkt zur Beurteilung der mehr oder weniger lebhaften Transpirationsgröße dieser Zellen gegeben ist, was auch durch vergleichende Untersuchungen des Autors bestätigt wurde.

Bezüglich des Vorkommens der Mykorrhiza hat Stahl (363) zahlreiche Pflanzen aus verschiedenen Klassen und Ordnungen geprüft. Aus den Studien des genannten, sowie aus den Befunden anderer Autoren ergibt sich, daß Mykorrhizabildung besonders häufig bei Pflanzen mit relativ geringer Wasserbilanz angetroffen wird, daß dagegen die Verpilzung fehlt (oder fehlen kann) bei Gewächsen, die ein gut entwickeltes Wurzelsystem mit reichlicher Wurzelhaarbildung, Stärkeblätter, Guttationsfähigkeit, größeres Lichtbedürfnis, somit eine lebhafte Wasserdurchströmung aufweisen. Es besteht somit (besonders bei Gefäßkryptogamen, Orchideen etc.) ein unverkennbarer Zusammenhang zwischen Wurzelverpilzung und Transpirationsgröße. Eine Stütze der Stahl-

schen Ansicht lieferten die Beobachtungen an hochnordischen Pflanzen, welche im allgemeinen als trügwüchsige Gewächse mit geringer Wasserbilanz bekannt sind. Denn Hesselmann (Bih. svensk. Akad. Handl. tom. XXVI, 1900) fand, daß sehr viele arktische Pflanzen mykotroph sind und Wulff (370) konstatierte, daß in der Flora von Spitzbergen Saccharophilie Regel, Amylophilie Ausnahme ist; denn von 16 aufs Geradewohl gewählten Arten zeigten alle scharfe Glykose-reaktion.

## XXI. Periodizität der Transpiration.

Da das Licht und die meteorologischen Zustände der Luft einen mächtigen Einfluß auf die Transpiration ausüben, diese Agentien aber fortwährenden Änderungen unterliegen, so ist es klar, daß erstens die Transpirationsgröße nicht nur einer jeden Pflanze in toto, sondern auch die eines jeden Sprosses und Blattes derselben im Freien fortwährenden Schwankungen unterworfen sein muß, und daß zweitens die Wasserabgabe einer und derselben Pflanze an verschiedenen Tagen zu derselben Tageszeit einen verschiedenen quantitativen Wert haben wird. Da ferner in den letzten Vormittags- und den ersten Nachmittagsstunden die Lichtstärke, Lufttemperatur und Lufttrockenheit in der Regel den höchsten Grad erreichen, so wird auch in jene Tageszeit das Transpirationsmaximum fallen. Darin stimmen auch alle Beobachtungen überein. Das Maximum der Verdunstung wurde nämlich gefunden:

Von Senebier bei Himbeerzweigen zwischen 12—1 Uhr; von Unger (64) bei Helianthus und Brassica zwischen 12—2 Uhr; von Anders bei Hydrangea zwischen 11—3 Uhr; von Hartig (124) bei jungen Bäumchen „in den späteren Vormittagsstunden“; von Comes (165, 172) bei Cheiranthus Cheiri zwischen 12—1 Uhr; von Sorauer (178) bei Sämlingen von Apfel, Birne, Kirsche zwischen 9—3 Uhr; von Marcano bei tropischen Pflanzen (in Caracas) zwischen 10—12 Uhr; diese Zeit korrespondiert mit dem Minimum des Saftdruckes, wie der Autor durch manometrische Messungen (an Bäumen) konstatierte; von Eberdt bei *Asclepias incarnata* zwischen 11—2 Uhr, bei *Eupatorium maculatum* zwischen 11—3 Uhr.

Wie zuerst von Hofmeister (Flora 1862) erkannt und später von Baranetzky (Naturforsch. Gesellsch. Halle, Bd. XII 1873), von Brosig, Detmer, Wieler bestätigt wurde, macht sich bei dekapierten Pflanzen unter konstanten Bedingungen häufig eine Periodizität im Ausflusse des Blutungssaftes bemerkbar. Das Maximum des Ausflusses wurde allerdings bei den einzelnen Pflanzen zu verschiedenen Tageszeiten gefunden, in der Regel jedoch lag es in der Zeit der letzten Vormittags- und der ersten Nachmittagsstunden.

Die Abhandlung von Baranetzky (Untersuchungen über die Periodizität des Blutes etc. Halle 1873) charakterisiert A. Horwath: „Die ziemlich voluminöse und modern aussehende (mit Kurven ausgestattete) Arbeit bietet nichts anderes dar, als eine tropfenweise Wiedergabe der schon bekannten Hofmeister'schen Angaben über die Periodizität des Tränens.“

Die Existenz einer periodisch wirkenden, von äußeren Einflüssen unabhängigen Ursache, als deren Folge eine tägliche Zu- und Abnahme der Transpiration sich herausstellt, wurde zuerst von Unger [64] angenommen. Er sagt: „Die Transpiration geht in der Tat nicht in gleichmäßiger Folge vor sich, sondern steigt und fällt trotz aller Nebeneinflüsse in den verschiedenen Stunden des Tages, so daß innerhalb 24 Stunden stets ein Maximum und ein Minimum eintritt.“ Das Transpirationsmaximum fiel auf die Tagesstunden von 12—2 Uhr, das Minimum trat zur Nachtzeit ein. Es ist jedoch zu bemerken, daß Unger seine Versuche an Freilandpflanzen (Helianthus, Brassica) angestellt hat, und die Transpirationsgröße durch die Menge des Kondensationswassers bestimmte, welches sich in einem an der Blattunterseite angekitteten Glastrichter bildete. Um aber die eventuelle Existenz einer von äußeren Agentien unabhängigen Periodizität zu ermitteln, dürfen die Pflanzen nicht im Freien und nicht in einem nahezu dunstgesättigten Raume stehen, sondern in einem Laboratorium bei vollkommen gleichen Licht-, Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnissen. Mit welcher Rigorosität hier vorgegangen werden muß, geht aus den Worten von Sachs (57) hervor: „Meine in dieser Richtung gemachten Versuche (Topfpflanzen von Tabak und Brassica oleracea im Laboratorium) haben den Zweifel, daß eine kleine Temperaturschwankung verbunden mit Feuchtigkeitsänderungen der Luft bei dem periodischen Wechsel der Transpiration mitwirken, nicht zu beseitigen vermocht. Doch ist die tägliche Periode wahrscheinlich vorhanden, wenigstens leitet die Analogie einer periodischen Bewegung der Blätter oder die Periodizität der Wurzelkraft zu dieser Annahme.“ Sorauer (178) beobachtete das Transpirationsmaximum

in den späteren Vormittags- und den ersten Nachmittagsstunden, das Minimum vor Sonnenaufgang.

Auch Kohl stimmt, ohne einen Versuch ad hoc gemacht zu haben, für die Existenz einer Periodizität. „Überlegungen und bei Gelegenheit anderer Versuche gemachte Erfahrungen führten mich zu der Annahme einer täglichen Periodizität.“ Dagegen leugnet Baranetzky (94) das Vorhandensein einer Periodizität. „Wägt man die im Finstern verbleibende Pflanze während der Tageszeit in gleichen Perioden, so findet man eine stetige und regelmäßige Abnahme (merkwürdig!) der Transpiration, aber keine Spur einer Periodizität derselben.“

Ja die Pflanzen leisteten sogar bei Nacht eine größere Wasserabgabe als bei Tage. Ich weiß nicht, ob diese Versuche auch in jenem Zimmer stattfanden, welches Baranetzky besaß und um welches ihn jeder Physiologe und Physiker beneiden muß, da in diesem Raume die Temperatur innerhalb 24 Stunden oft nicht über 0,3 Grad C schwankte; ich kenne nur die Äußerung von Eberdt: „Ich habe eine große Anzahl von Versuchen in eben der Art wie Baranetzky angestellt, aber eine Mehraufnahme während der Nacht nie beobachten können und halte aus diesem Grunde die Angaben von Baranetzky für unwahrscheinlich.“

Bei den Versuchen Eberdt's standen die Pflanzen (Wasserkulturen von *Asclepias incarnata* und *Eupatorium maculatum*) in einem dunklen Zimmer und zwar entweder frei, oder im Kohl'schen „Transpirationsapparat“. In letzterem Falle wurde infolge Aspiration sehr trockener Luft die relative Feuchtigkeit unter der Glocke konstant auf 10 Proz. erhalten. Ebenso war die Temperatur des Wassers, in das die Wurzeln tauchten und die Lufttemperatur nahezu gleichbleibend. Beispielsweise betrug die „auf dem Wege der Messung konstatierte“ Wasseraufnahme von *Asclepias* nach je einer Stunde von 12 Uhr nachts bis wieder 12 Uhr nachts in Hundertstel ccm: 15, 17, 19, 21, 23, 26, 29, 35, 112, 119, 54, 58, 61, 59, 55, 50, 45, 41, 35, 29, 25, 20, 15, 13. Daraus ergibt sich also eine von äußeren Einflüssen unabhängige Periodizität der Wasseraufnahme durch die Wurzeln. Daraus läßt sich wohl auf die Wahrscheinlichkeit der Existenz einer Periodizität der Transpiration schließen, streng bewiesen ist sie jedoch nicht. Indem ich schließlich und nur nebenbei die Äußerung von Eder: „Eine von äußeren Einflüssen unabhängige Periodizität der Transpiration gibt es nicht“ anführe, stimme ich gleichzeitig mit Eberdt überein, der sich dahin ausspricht, daß auf die Behauptungen Eder's nicht gerade großes Gewicht gelegt zu werden braucht.

Aus Beobachtungen, welche in jüngster Zeit von Curtis (389) gemacht wurden, ergibt sich bei ziemlicher Konstanz der äußeren Bedingungen eine Periodizität der Transpiration. Die Pflanzen standen in den einzelnen Versuchsreihen entweder im natürlichen Tageslichte bei bewölktem Himmel oder in einem von elektrischem Lichte (900 Kerzenstärke) beleuchteten Raume oder im Finsternen und wurden unter Beachtung verschiedener Vorsichtsmaßregeln zwischen Morgen und Abend stündlich gewogen. Aus den Tabellen des Verf. seien nur die folgenden vier Zahlenreihen hier mitgeteilt:

a) Transpirationswerte (in mg) im Tageslichte; *Kalanchoe glaucescens*: 12, 22, 28, 32, 36, 48, 64, (12<sup>h</sup>) 57, 39, 34, 36, 26, 18 (Therm. 26—28, Hygrom. 26—30). — *Stachys grandiflora*: 26, 30, 40, 74, 67, 84, 120 (12<sup>h</sup>), 115, 99, 99, 60, 36, 39. (Therm. 17—17,5, Hygrom. 42—46).

b) Transpirationswerte (in mg) in elektrischem Lichte; *Gardenia jasminoides*: 27, 36, 57, 60, 65, (12<sup>h</sup>), 60, 63, 55, 33, 38. (Therm. 20,5—21, Hygrom. 29—32). *Acalypha hispida*: 176, 182, 184, 210, (11<sup>h</sup>) 194, 182, 176, 177, 147, 141, 138. (Therm. 23—23,5, Hygrom. 50—52).

Diese Periodizität korrespondiert mit dem Zustand der Spaltöffnungen, welche in der Zeit zwischen der letzten Vormittags- und der ersten Nachmittagsstunde die größte Apertur zeigten. Curtis kommt u. a. zu folgenden Konklusionen: „On cloudy days when the intensity of the light is quite uniform or at least not in keeping with the time of day, the transpiration curve shows a pronounced maximum near midday and it is also characterized by minor fluctuations that occur independently of climatic changes. — An illumination of an electric light of 900 candle-power under uniform external conditions demonstrated a periodicity in the transpiration of several plants that corresponds in the main with the curves determined on cloudy days. — The physiological character of transpiration is indicated by the periodicity of the opening and closing of the stomata; they are more responsive to the stimulus of light in the morning than in the afternoon, and the more considerable physiological activity in the morning is manifest in the more pronounced aftereffect following the illumination in the forenoon. (Die von Fr. Darwin gefundene Tatsache, daß die Spaltöffnungen die Fähigkeit erworben haben, sich unter Lichteinfluß des morgens williger zu öffnen als nachmittags, wurde von Curtis durch Messung der stomatären Transpiration verifiziert).

## XXII. Bilanz zwischen Wasserverbrauch und Regenmenge; Absolute Transpirationsgrößen.

Um die absolute Transpirationsgröße einer Pflanze während eines bestimmten Zeitraums kennen zu lernen, ist es notwendig, die Menge des abgegebenen Wassers an einer vollständigen, bewurzelten und unverletzten Pflanze festzustellen. Wenig Wert hat das Resultat, wenn man die Transpiration oder gar die Wasseraufnahme eines kleinen Sprosses oder Blattes ermittelt und daraus durch Multiplikation die Verdunstungsgröße der ganzen Pflanze berechnet (siehe auch bei Krutitzky Nr. 175, der sich ebenso äußert); ganz wertlos ist es, wenn jene tatsächliche Ermittlung für wenige Stunden im Laboratorium erfolgt und als Basis der Berechnung für die Gesamtleistung einer Freilandpflanze während der Vegetationszeit genommen wird. Ich will dies durch ein Beispiel illustrieren. Pfaff stellte sich die Aufgabe, die Wassermenge zu ermitteln, die ein Laubbaum während einer Vegetationsperiode durch Transpiration verliert. Zu diesem Zwecke wurde von einer „jungen, kräftigen Eiche“ (Spezies nicht angegeben) vom 18. Mai bis zum 24. Oktober, also durch 160 Tage täglich viermal (6 am., 11 am., 4 pm., 9 pm.) ein kleines Seitenästchen abgeschnitten (alle 640 Ästchen von der Nordseite des Baumes) und der während drei Minuten erlittene Wasserverlust an der Nordseite eines Hauses bestimmt. Von 9 Uhr abends bis 6 Uhr morgens fanden keine regelmäßigen Beobachtungen statt; aus Nebenversuchen ergab sich die Nachtverdunstung gleich  $\frac{1}{2}$ — $\frac{1}{3}$  der Tagesverdunstung, die Transpiration in der Sonne gleich  $3\frac{1}{3}$  mal so groß als jene im Schatten. Aus der Gesamtzahl der Blätter (rund 700000), der mittleren Blattoberfläche ( $23\frac{1}{4}$  qm) und den gefundenen Verdunstungsquoten berechnete Pfaff die Menge des von der Eiche von der Zeit der Blattentwicklung bis zu der des Laubfalles verdunsteten Wassers mit 112 100 Kilogramm.

Wie verhält sich dazu die Menge der atmosphärischen Niederschläge? Nimmt man die Fläche, welche der Baum mit seiner Krone deckt und die nahe mit dem horizontalen Verbreitungsbezirk seiner Wurzeln zusammenfällt, als Basis der Berechnung, so müßte die Höhe des auf dieser Fläche von der Eiche verdunsteten Wassers 539 cm betragen, während die jährliche Regenmenge (in Würzburg, wo der Versuch stattfand) nur auf 65 cm veranschlagt werden kann. Die Eiche verbrauchte also in 6 Monaten (theoretisch) 8.5 mal mehr

Wasser als tatsächlich während dieser Zeit die Niederschlagsmenge auf die Fläche von der Größe ihrer Blattkrone betrug. Das Schönste an der Sache aber ist, daß jenes gewiß nicht geringe Quantum von 112 100 kg nach Pfaff nur ein „Minimalwert“ ist, weil dabei die Verdunstung in der Sonne gar nicht in Rechnung gebracht wurde. Rechnet man diesen Faktor ein, so wäre der Wasserbedarf jenes Eichenbaumes ein so großer, daß die Niederschläge während eines Dezenniums nicht hinreichen würden, um diesen Bedarf während einer einzigen Vegetationsperiode zu decken. Hann, der (in Zeitschr. f. österr. Meteorol. VI. Bd. p. 11) die Arbeit von Pfaff einer Kritik unterzogen hat, erinnert daran, daß Vaillant (Mondes, tom. VIII 1865) durch ein ähnliches Kalkül die Verdunstungsmenge einer Eiche von 21 m Höhe und 2,63 m Stammumfang (in 1 m Höhe) an einem einzigen schönen Tage mit 2000 Kilogramm berechnet. Vaillant schließt daraus, daß die Bäume den Boden austrocknen und meint, daß die Transpiration der Pflanzen der Grund sei, warum von dem Sommerregen im allgemeinen so wenig Wasser den Flüssen zugeführt wird. Treffend bemerkt hierzu Hann: „Niemand wird glauben, daß er einen Bergabhang nur abzuholzen braucht, um am Fuße die Quellen hervorbrechen zu sehen, die ihm früher der Wald aufgezehrt.“

Mehrere Autoren wollten ergründen, ob unter natürlichen Verhältnissen das den Pflanzen durch die Niederschläge zugeführte Wasser hinreicht, um die Transpiration resp. deren Wasserbedürfnis zu decken.

Plenk meinte, der Sommerregen könne das nötige Wasser nicht geben; es müssen die Niederschläge des Winters dazu beitragen. Vogel (86) hat ausgerechnet, aber nicht bewiesen, daß die Regenmenge einer Vegetationsperiode geringer ist als die Menge des durch die Pflanzen verdunsteten Wassers. Auch Hellriegel (90) kam zu dem Resultat, daß zur Produktion einer Mittelerte von *Hordeum vulgare* der durchschnittliche Regen nicht ausreicht, und daß für das Wasserbedürfnis der Pflanze die Winterfeuchtigkeit des Bodens beitragen muß. Nach Davy (103) kann die Regenmenge bei guter Bodenbearbeitung hinreichend, für schlechten Kulturboden unzureichend sein. Endlich fand Wollny (144), der zahlreiche Versuche ausgeführt hat, daß allerdings das Wasserbedürfnis unserer Kulturpflanzen größer ist, als die in unserem Klima durch den Regenfall zugeführte Wassermenge, daß jedoch die Differenz nicht bedeutend ist, und daß das eventuelle Defizit durch die vor Beginn der Vegetationszeit statt-habenden Niederschläge gedeckt wird.

Aber wozu diese Experimente? Jeder simple Landwirt weiß, daß in unserem Klima, äußerst trockene Jahre abgerechnet, die Nieder-

schläge zur Deckung des Wasserbedürfnisses der Pflanzen hinreichen. Daß letzteres der Fall ist, wurde durch direkte Versuche von Unger (43), Hofmann (91), Davy (103), von Hoehnel (184) für forstliche Holzgewächse und von Wollny (190) für landwirtschaftliche Kulturpflanzen nachgewiesen. Insbesondere hat der letztgenannte Autor (Nr. 190; ferner der Einfluß der Pflanzendecke auf die physikalischen Eigenschaften des Bodens, Berlin 1877) durch Experiment und Rechnung gefunden, „daß in unserem Klima die atmosphärischen Niederschläge ausreichend sind, um den Wasserbedarf der Kulturpflanzen zu decken.“

Im folgenden notiere ich Daten, welche als Transpirationsgröße normaler, bewurzelter Pflanzen während einer längeren Beobachtungszeit von verschiedenen Autoren ermittelt wurden. Bei den betreffenden Untersuchungen befanden sich die Pflanzen entweder in mit Erde (Bodenkultur) oder mit Sand (Sandkultur) gefüllten Töpfen oder in einer Nährlösung (Wasserkultur). Zur Abkürzung des Textes bediene ich mich für die genannten drei Kulturmethoden der Abkürzungen: B.-C., S.-C. und W.-C.

Woodward bestimmte für mehrere Pflanzen (*Mentha*, *Solanum*, *Lathyris*), die in mit Regen-, Brunnen- und Themsewasser gefüllten Gefäßen standen, die während 77 Tagen abgegebene Wassermenge. Hales ermittelte die Transpiration einer Sonnenblume, einer Kohlpflanze, eines Weinstockes, eines Apfel- und eines Zitronenbaumes (B.-C.); Miller jene einer *Musa*, *Aloe*, *Tomate*; Martino die einer Maispflanze, Kohlpflanze, Sonnenblume, eines Maulbeerbäumchens. Gilbert und Lawes (39) bestimmten die Transpirationsgröße verschiedener Kulturpflanzen innerhalb 172 Tagen, eingeteilt in sieben Perioden (B.-C.). Knop (56) teilt Zahlen über die 24tägige Verdunstung einer Zwergbohne (W.-C.) mit. Hartig (63) ermittelte die Transpiration von 6—8 m hohen, vollbelaubten Holzpflanzen (W.-C.) Unger (64) die einer im Freien stehenden *Digitalis purpurea* innerhalb 31 Tagen, Vogel (86) jene von Cerealien in 70 Tagen. Risler berechnete die Verdunstungsgröße verschiedener Kulturgewächse und einiger Bäume: Apfel, Eiche, Tanne, Nußbaum (B.-C.). Fittbogen (98, 104) bestimmte in zwei, zeitlich voneinander getrennten Untersuchungen die Transpiration einer Haferpflanze von der Keimung bis zur Fruchtreife (B.-C.), ferner die Transpiration von Gerstenpflanzen vom 12. Mai bis 16. Juli in fünf verschiedenen Perioden (S.-C.). Barthélemy beobachtete die Wasserabgabe bei *Opuntia*, *Ficus*, *Hortensia*. Fr. Haberlandt (123) konstatierte die Transpirationsgröße von Cerealien in drei verschiedenen Entwicklungsstadien (W.-C.),



und in einer zweiten Arbeit (134) jene von 30 verschiedenen Kulturpflanzen (B.-C.). Farsky (130) ermittelte die Wasserverdunstung bei Korn, Gerste und Erbse von der Keimung bis zur Fruchtreife (W.-C.); Tschaplowitz (141) bei Erbsenpflanzen (W.-C.), ferner bei Gossypium, Philodendron und Caladium (B.-C.), Anders (145) bei Calla, Pelargonium, Hydrangea, Camellia, Lantana, Dracaena (B.-C.). Hoehnel (166, 174, 184) veröffentlichte die Resultate ausgedehnter Versuche über den Wasserverbrauch der forstlich wichtigeren Holzgewächse (5—6jährige Bäumchen) während der ganzen Vegetationszeit (B.-C.). Kusano ermittelte die Transpirationsgröße immergrüner Holzpflanzen Japans während der Wintermonate (B.-C.). Nobbe (186) bestimmte den Wasserverbrauch einer 2jährigen Erle innerhalb 90 Tagen (W.-C.). Von Sorauer wurden mehrere einschlägige Arbeiten publiziert: die eine (178) bezieht sich auf die Transpiration von Holzpflanzen (Acer, Salix, Tilia, Ligustrum, Vitis, Pinus) innerhalb 74 Tagen; die zweite (188) auf die Verdunstungsgröße junger Hopfenpflanzen vom 5. Juli bis 31. August (S.-C. + W.-C.), die dritte auf die Transpiration von Gerste, Korn, Weizen, Hafer von der Keimung bis vor Ausbildung der Ähre (W.-C. bei verschiedener Konzentration). Hellriegel (198) berichtet über die Transpiration von Gerstenpflanzen (S.-C.), Leclerc (200) über die einer Maispflanze (W.-C. + B.-C.). Genau ließ Knollen von Sauromatum ohne Wasserzufuhr bis zur Blütenentwicklung liegen und bestimmte während dieser Zeit (5—7 Wochen) den täglichen Wasserverlust.

Verschiedene Autoren haben es versucht, aus der bei einer oder wenigen Pflanzen gefundenen Transpirationsgröße die Wasserabgabe ganzer Wiesen, Felder oder Wälder zu berechnen. Die gewonnenen Zahlen schließen aber mitunter so grobe Fehler ein (vgl. hierüber z. B. Hoehnel (166), der auf dieselben aufmerksam macht), daß ich die Ziffern der Resultate nicht reproduziere. Es berechneten die Wasserverdunstung: Hales für 9000 Hopfenpflanzen auf einer Fläche von 750 Quadratklaftern (2700 qm) pro 12 Tagesstunden; S. Martino für einen Nußbaum mit 20000 Blättern pro Tag; Watson (zit. Unger, Exantheme, S. 55) für einen Morgen Wiesenland pro 24 Stunden; Neuffer für eine Quercus Robur mit 1000 Blättern pro 24 Stunden; Schübler (zit. Schleiden, Grundzüge S. 610) für einen Quadratfuß (0,1 qm) mit Poa annua bewachsenen Boden per einen Sommertag; Schmidt (zit. ibid.) für einen mit Hafer und Klee angebauten Morgen vom 12. April bis 19. August; Unger (43) für Isatis tinctoria, Digitalis, Helianthus, Brassica, Vitis per 1600 Quadratfuß (5750 qm) und 133 Tage; Th. Hartig (63) für einen Morgen

tausendstämmigen Holzbestand, aus Erle, Haine, Buche, Eiche, Birke, Aspe, Kiefer, Lärche, Fichte in gleicher Stückzahl zusammengesetzt, pro Tag; Fleischmann (72) für 1600 Hopfenpflanzen pro Juli; Vogel (86) für einen Morgen Hafer, Weizen, Roggen, Gerste pro 70 Tage, sowie für je einen Morgen Eichen- und Fichtenwald (vierjährige Pflanzen) per fünf Monate; Pfaff (87) für eine Eiche mit 700000 Blättern vom 18. Mai bis 24. Oktober; Hellriegel (90) für einen Morgen Gerstenfeld während der ganzen Vegetationszeit; Riesler (92) für verschiedene Kulturfelder, Wiesen und Wälder; Briem (116, 128) für 1000 Zuckerrüben auf einem Ar vom 1. Juli bis 31. August, sowie für ein Ar Roggenpflanzen in je fünf Tagen in den Monaten April, Mai, Juni; Fr. Haberlandt (123) für je eine Million Roggen, Weizen, Gerste, Haferpflanzen auf einem Hektar während der ganzen Vegetationszeit; Anders (145) für einen 500stämmigen Ulmenwald (bei Cambridge) pro 12 Stunden; Hartig (152) für 100000 fünfjährige Stämme auf  $\frac{1}{4}$  Hektar pro Tag; Hoehnel (184) für 400—600 Stück 115jährige Buchen (auf einem Hektar) vom 1. Juni bis Ende November. Hellriegel (198) für ein Hektar Gerstenfeld während der Vegetationszeit.

### XXIII. Wasserabgabe toter Pflanzenteile.

Es ist lange bekannt, daß durch Hitze, Frost, Gift etc. getötete Pflanzenteile rascher Wasser abgeben und austrocknen als lebende. Ziffermäßige Daten gewann Mohl (37); die betreffenden Pflanzenteile waren durch 24 Stunden einer Temperatur von  $-4$  bis  $-9^{\circ}$  C ausgesetzt und wurden dann in ein geheiztes Zimmer übertragen. Hierbei betrug nach 5 Tagen der Gewichtsverlust (in Prozenten des anfänglichen Gewichtes) der toten Pflanzenteile gegenüber lebend gebliebenen z. B. bei Blättern von *Ficus elastica* 32 gegen 11,4, bei Blättern von *Vanilla planifolia* 19 gegenüber 4,9, bei Stammstücken von *Epiphyllum truncatum* 16,5 resp. 7,9, bei Stammstücken von *Stapelia hirsuta* 8,9 resp. 4,6 etc. Es ist deshalb fast komisch, daß sich Nägeli (62) vierzehn Jahre nach den Beobachtungen des Altmeisters Mohl die Frage stellte, ob ein totes Gewebe gleichviel verdunstet wie ein lebendes oder ob eine Verschiedenheit besteht. Durch

wiederholte Wägungen gefrorener beziehungsweise frostfrei aufbewahrter, geschälter und ungeschälter, z. T. verfaulter Äpfel und Kartoffel, kam Nägeli zu Ergebnissen, auf die wir um so weniger einzugehen brauchen, da sie fast nichts Neues bieten. Nach Prunet transpirierte ein mit der Schnittfläche in Wasser stehender, vierblättriger Weinsproß im Dunkelzimmer 1 m vor einer Gasflamme stehend, im Mittel 17 mg pro Viertelstunde. Er wurde dann durch rasche Ätherverdunstung zum Gefrieren gebracht; nach dem Auftauen betrug die Wasserabgabe in den aufeinanderfolgenden Viertelstunden: 108, 87, 54, 46, 39, 34, 31, in Summa 475 mg, während ein Vergleichssproß in derselben Zeit nur 132 mg an Gewicht verlor.

Nach v. Mohl ist die Erscheinung der leichten und raschen Wasserabgabe von durch Frost getöteten Pflanzenteilen dadurch zu erklären, daß entweder die Zellmembran eine physikalische Änderung erleidet, wodurch sie für Wasser leichter permeabel wird, oder daß im Zellinhalte sich eine chemische Änderung vollzieht, vermöge welcher das Wasser nicht mit jener Kraft zurückgehalten wird, wie in der lebenden Zelle. Nach den sorgfältigen Untersuchungen von Molisch (373) erfolgt das Erfrieren der Zellen entweder dadurch, daß sich innerhalb des Protoplasten Eis bildet oder daß aus der Zelle Wasser tritt und an der äußeren Oberfläche der Wand zu Eis wird; es können auch beide Erscheinungen an derselben Zelle oder in demselben Gewebe sich geltend machen. In jedem Falle werden dem Protoplasma bedeutende Wassermengen entzogen.

Ziffermäßige Daten über den Wasserverlust toter Blätter im Vergleich zu dem lebender (oder langsam absterbender) wurden von Fleischer und von G. Haberlandt (Physiol. Anatomie) ermittelt. Nach dem erstgenannten Autor verloren abgeschnittene Blätter, die auf dem Tisch in einem diffus beleuchteten Zimmer lagen, a) 50 Prozent ihres Wassergehaltes in Stunden, b) alles Wasser bis zur Lufttrockenheit in Tagen:

	Fuchsia spec.		Bryophyllum calyc.	
lebend exponiert . . . .	a) 72	b) 15	a) 2400	b) 255
durch heißes Wasser getötet	10	4	72	23
durch Frost getötet . . .	24	7	28	9

Haberlandt verglich die Evaporation lebender Blätter mit solchen, die durch Chloroformdampf getötet wurden. Nach Überstreichung der spaltöffnungsführenden Unterseite mit „Kakaowachs“ (1 T. Bienenwachs + 3 T. Kakaobutter) wurden die Blätter durch

drei Tage im Laboratorium aufgelegt (Temp. 19—23°, r. F. 68—75 Proz.). Die durchschnittliche Verdunstungsgröße der lebenden (l) resp. der chloroformierten (t) Blätter betrug pro Tag und Quadratdezimeter in Milligramm: *Ficus elastica*: l = 32, t = 56; *Hedera Helix*: l = 31, t = 44; *Aesculus Hippocastanum* (Teilblätter): l = 126, t = 156. Für eine freie Wasserfläche ergaben sich 6922 mg. Es geht daraus hervor, sagt *Haberlandt*, daß der Hauptanteil an der so bedeutenden Herabsetzung der Transpiration der Blattflächen gegenüber jener der Wasserfläche nicht dem lebenden Protoplasma, sondern der Kutikula und den Kutikularschichten zukommt. (Über die Transpiration von Blattflächen gegenüber der Verdunstung einer freien Wasserfläche vgl. auch die Angaben von *Unger* (64), *Müller* (140) und von *Masure*.) Schließlich sei noch auf die Beobachtung von *Oltmanns* hingewiesen, nach welcher die Wasserabgabe von durch Alkohol oder siedendes Wasser getöteten Moose (Arten von *Dicranum*, *Hypnum*, *Hylocomium*, *Sphagnum*) größer war als die lebender Vergleichspflanzen.

---

## XXIV. Transpirationsverhältnisse im feucht-warmen Tropengebiete.

---

Über die Transpirationsgröße der Pflanzen im heiß-feuchten Tropenklima in ihrem Verhältnisse zu jener der Flora Mitteleuropas hat sich zuerst *Haberlandt* (275) auf Grund von experimentellen Beobachtungen, die er in den botanischen Gärten zu Buitenzorg und zu Graz gemacht hat, bestimmter ausgesprochen. Zur Ermittlung der Transpirationsgröße bediente sich *Haberlandt* in Buitenzorg teils abgeschnittener, beblätterter Sprosse, teils einzelner Blätter. Die unteren Enden dieser Pflanzenteile tauchten mit der Schnittfläche in mit Wasser gefüllte Glaszylinder, die möglichst luftdicht verschlossen wurden; die Versuchsobjekte standen auf einem freien Platz vor dem Laboratorium unter einem allseits offenen Zelt, dessen mattes Glasdach mit Schlinggewächsen bekleidet war. „Vor direkter Insolation und vor Benetzung durch Regen waren sie vollkommen geschützt.“ Die Transpirationsverluste wurden während zweier oder dreier Tage täglich zweimal (gewöhnlich um 7 Uhr früh und 3 Uhr nachmittags) ermittelt. Aus den erhaltenen Gewichts-

differenzen wurde die Transpirationsgröße für 24 Stunden, ferner für eine „sonnige Vormittagsstunde“ (welche die Versuchspflanzen nie hatten), ferner für eine „Nachmittags-Nachtstunde“ (stündlicher Durchschnitt für die Zeit von 3—5 Uhr nachmittags bis 7 Uhr früh) berechnet und einheitlich auf 1 qdm Spreitenfläche, sowie auch auf 1 g Blatt-Frischgewicht reduziert. Von den verwendeten 17 Pflanzenarten verloren pro Tag und 1 qdm Blattfläche neun weniger als 1 g, sechs zwischen 1—2 g, und nur zwei transpirierten stärker, nämlich Phoenix sp. (2,6 g) und *Acalypha tricolor* (3,25 g). Pro 24 Stunden und 1 g Blattgewicht verloren von 15 Arten elf weniger als 0,5 g, drei zwischen 0,5—1 g, *Acalypha* 1,8 g. Der Autor teilt weiter in dieser Abhandlung die von ihm nach gleicher Methode in Graz ermittelten Transpirationszahlen für mehrere dortige Holzpflanzen, wie *Aesculus*, *Syringa*, *Acer*, *Corylus*, *Cornus* mit. Zweige dieser Gewächse verloren im August (Temp. 21—30° C, r. F. 49—80%) pro Tag und qdm Blattfläche 1,37—5,97 g an Gewicht. Anschließend reproduziert Haberlandt die von N. J. C. Müller (139) für verschiedene einheimische Holzarten berechneten Transpirationswerte, die sich pro Tag und qdm Blattfläche zwischen 2,42—7,96 g bewegen, und kommt zu dem folgenden Schlusse: „Im Durchschnitt bleibt also die Transpiration in einem feucht-warmen Tropenklima mindestens um das Zwei- bis Dreifache hinter den Transpirationsgrößen, wie sie in unserem Klima gewöhnlich sind, zurück. Dieses Ergebnis war ja im Grunde genommen vorzusehen.“

Dieser Ansicht, daß die Transpiration in den feucht-warmen Gebieten Westjavas (von Haberlandt auf die feuchten Tropengebiete überhaupt ausgedebnt) mindestens 2—3 mal geringer sei als die in Mitteleuropa, sind zuerst Stahl, dann auch Wiesner, Giltay, Stenström und ich entgegengetreten. Stahl (293) sprach sich dahin aus, daß für die in Wäldern oder an sonstigen sehr schattigen Orten wachsenden Pflanzen die Haberlandt'sche Annahme zutreffend sein oder noch hinter der Wirklichkeit zurückstehen kann. Was dagegen die der Sonne ausgesetzten Tropenpflanzen betrifft, so lassen es die (von Stahl in derselben Abhandlung mitgeteilten) Erfahrungen wahrscheinlich erscheinen, daß ihre Verdunstungsgröße von Haberlandt viel zu gering angeschlagen wird. Die gefundenen relativ geringen Verdunstungsgrößen erklären sich, wie Stahl richtig bemerkt, aus der Versuchsanstellung. Die Versuchspflanzen Haberlandt's wurden eben dem direkten Sonnenlichte, „welches ja gerade in der feuchten

Tropenluft (wegen des hohen Wassergehaltes von Luft und Boden) seine transpirationssteigernde Wirkung am stärksten zur Geltung bringen muß“, gar nicht ausgesetzt.

Als Gegenschrift zu der Abhandlung Haberlandt's (275) erschienen gleichzeitig Giltay's (318) „Vergleichende (und kritische) Studien über die Stärke der Transpiration in den Tropen und im mitteleuropäischen Klima“, sowie meine kritischen Bemerkungen (315) zu Haberlandt's Versuchen. Auf beide Gegenschriften folgte eine Replik seitens Haberlandt's (333). Auf die Giltay betreffenden Stellen jener Replik veröffentlichte dieser (332) eine Duplik, auf diese dann Haberlandt (341) eine „Erwiderung“ und auf letztere wiederum Giltay (347, 348) zwei Gegenerwiderungen. Ich habe auf die mich betreffenden Stellen in Haberlandt's Replik in meinen „Materialien“ (III p. 84 ff.) geantwortet. Giltay (318) erhebt zunächst auch Bedenken gegen die Versuchsanstellung von Haberlandt und wendet mit Recht hauptsächlich Dreierlei ein: 1. Da die Buitenzorger und Grazer Versuchspflanzen vor Insolation und Beregnung geschützt waren, so fragt es sich, inwieweit die mögliche Verschiedenheit in der Stärke dieser Faktoren an beiden Orten die Transpiration beeinflußt hätte. 2. Wurde hier und dort mit ganz verschiedenen Pflanzen experimentiert. 3. Wurden nur abgeschnittene Zweige und Blätter verwendet. Giltay beschäftigt sich dann mit dem Klima von Java. Haberlandt fand die Luftfeuchtigkeit in Buitenzorg (Dezember, Januar) zwischen 70—97 Proz. „Zwei Dritteile des Tages hindurch war die Luft im Freien fast dampfgesättigt.“ Aber Giltay weist auf Grund eines statistischen Materials nach, daß es im feucht-warmen Klima Westjavas auch Gegenden gibt, in denen die Feuchtigkeit bei weitem nicht so hohe Werte hat, als Haberlandt meint. Giltay selbst konstatierte, was Buitenzorg betrifft, a) vom 18. Oktober bis 28. November eine relative Luftfeuchtigkeit von 36—96 Proz. und als Mittelwert von 24 Beobachtungen um die Mittagszeit (für eine Periode, in der es häufig regnete) 56 Proz.; b) vor dem Laboratoriumsgebäude des Berggartens Tjibodas, „des ewig feuchten Waldes“, (vom 1.—12. Dezember) 79—98 Proz., im Walde selbst 95—100 Proz. Giltay teilt auch die Feuchtigkeitsverhältnisse von Batavia mit.

Von den Transpirationsversuchen Giltay's verdienen insbesondere jene Beachtung, die mit Topfpflanzen von *Helianthus annuus* (dieselbe Varietät) einerseits in Buitenzorg, andererseits in Wageningen (Holland) gemacht wurden. Die Töpfe standen in sehr gut schließenden Zinkumhüllungen und waren frei auf dem Platze

vor dem Laboratoriumsgebäude Buitenzorgs (beziehungsweise im botanischen Garten von Wageningen) aufgestellt; vor Erwärmung durch Insolation waren die Zinkumhüllungen geschützt. Bei einigen Versuchen in Buitenzorg standen die Pflanzen unter einem Glasdach, das aber nicht von Schlingpflanzen umkleidet war. Es betrug nun die Transpiration an den einzelnen Tagen im Mittel pro Stunde und qdm der Blattfläche in Gramm:

Buitenzorg, im Freien . . . . .	1,8 — 3,7,
„ unter dem Glasdach . . . . .	0,4 — 0,8,
Tjibodas, vor dem Laboratoriumsgebäude . . . . .	0,02—1,5,
„ im Walde . . . . .	0,12—0,21,
Wageningen, 23./V.—14./VI. . . . .	0,2 — 1,0.

In Wageningen war das Wetter im allgemeinen trocken, hell und warm. Das Mittel aller Beobachtungen mit *Helianthus*, die an ganzen Tagen angestellt wurden, gab nun für Buitenzorg und für Wageningen dieselbe Zahl, nämlich 0,6 g pro Stunde und 0,5 qdm Oberfläche + 0,5 qdm Unterfläche der Blätter. Für den Standort in Tjibodas ergab sich 0,39 g. Auch die mit anderen Pflanzen, z. B. *Acalypha tricolor*, *Pterocarpus saxatilis*, *Cedrela serrulata*, *Ficus elastica* in Buitenzorg gemachten Versuche ergaben viel höhere Transpirationswerte, als Haberlandt gefunden hat. Der Schlußsatz Giltay's lautet: „Ich kann also nicht anders, als meiner Meinung Ausdruck zu geben, daß wirklich die Transpiration in den Tropen nicht so gering ist, als man (i. e. Haberlandt) geglaubt hat, annehmen zu müssen.“

In seiner Replik macht Haberlandt (333) gegen Giltay die Bemerkung, daß man die für Batavia ermittelten Feuchtigkeitsverhältnisse nicht für Buitenzorg gelten lassen kann, da Batavia ein trockeneres Klima hat; trotzdem gibt Haberlandt zu, daß die mittlere relative Feuchtigkeit in Batavia während der Hauptvegetationszeit 84,8 Proz. beträgt. Haberlandt vergleicht dann die Feuchtigkeitsverhältnisse in Buitenzorg mit denen in Graz, hält es aber — und dies ist bezeichnend — „wirklich für überflüssig, darauf noch näher einzugehen“.

Darauf zitiert Giltay (332) eine Stelle aus Haberlandt's „Tropenreise“ (S. 115): „Die zahlreichen Transpirationsversuche, welche ich im Buitenzorger botanischen Garten anstellte, haben zu dem Ergebnis geführt, daß die Transpiration der Gewächse in dem feucht-warmen Klima Westjawas mindestens um das 2—3fache

geringer ist, als bei Pflanzen, die in unserem mitteleuropäischen Klima gedeihen.“ Ganz willkürlich wird also von Haberlandt das klimatische Verhältnis Buitenzorgs auf Westjava im allgemeinen übertragen. Deshalb war Giltay im Recht, darauf aufmerksam zu machen, daß es in Westjava noch andere Klimate gibt, als dasjenige Buitenzorgs, welches fast eine Ausnahmestellung in bezug auf die jährliche Regenmenge einnimmt.

Haberlandt sagt weiter: „Ich kann daher in den Schlußergebnissen der Giltay'schen Versuche nicht nur keine Widerlegung meiner Ansicht betreffs der geringen Transpiration im feuchten Tropenklima finden, sondern muß betonen, daß jenes Ergebnis vielmehr zugunsten meiner Ansicht spricht (!). In Tjibodas fand Giltay eine Transpiration von bloß 0,39 g, also ansehnlich weniger als in Wageningen.“ Giltay findet es nun sonderbar — und darin werden ihm alle beistimmen —, wie Haberlandt dazu kommt, die Ergebnisse in Tjibodas geradezu als Typus für das feuchte Tropenklima hinzustellen. Tjibodas liegt doch in ca. 1500 m Höhe, hat kühles Klima, eine relative Feuchtigkeit von 80—98% (während der Giltay'schen Versuche im Mittel 92%). Es ist daher für den Vergleich der Transpirationsverhältnisse Westjavas und Mitteleuropas nicht erlaubt, für ersteres Tjibodas zu substituieren.

Dann bemängelt es Haberlandt, daß Giltay seine Transpirationsversuche in Wageningen nicht im Hochsommer, sondern im Mai bis Juni ausführte. Im Juli und August hätte er — so glaubt Haberlandt — zweifellos höhere Resultate erhalten. Giltay (332) teilt nun Transpirationsversuche mit, die er mit *Helianthus* zu Wageningen zwischen dem 14. Juni bis 24. Juli — also im Hochsommer — angestellt hat. Für den Juni waren die Mittelwerte 0,51 g und 0,58 g, für Juli 0,57 und 0,61 g; diese Zahlen weichen also von dem früher erhaltenen Werte 0,6 nicht wesentlich ab. Giltay bemerkt dazu ganz richtig, daß ja diese Zahlen keine konstanten sind, denn in einem anderen Juli hätte er statt 0,6, ganz gut 0,5 oder 0,7 erhalten können. Einen richtigen Einblick in die tatsächlichen und daher allenfalls vergleichbaren Transpirationsverhältnisse könnte man doch nur durch jahrelang fortgesetzte Beobachtungen mit zahlreichen Pflanzen gewinnen.

Haberlandt wirft Giltay ferner vor, daß er seine *Helianthus*-versuche in Wageningen gemacht hat, welches nicht zum mitteleuropäischen, sondern zum atlantischen Klima gehört. Um nun die volle Wahrheit über die Transpirationsverhältnisse von *Helianthus* im mitteleuropäischen Klima ans Licht zu bringen, teilt Haber-



landt erstens eine Versuchsreihe von Unger und zweitens eine Anzahl eigener Versuche mit. Der Unger'sche *Helianthus annuus* stand an einem schattigen Ort des Wiener Botanischen Gartens und wurde vom 23. Juni bis zum 8. Juli (1853) täglich gewogen. Die Blattoberfläche betrug am Beginn des Versuches 229 qcm, am Ende 319 qcm. Legt man der Berechnung eine mittlere Flächenausdehnung von 274 qcm zugrunde, „so ergibt sich aus den von Unger ermittelten Daten ein Transpirationsverlust von 0,84 g pro Stunde und qdm“, was gegenüber dem von Giltay für Buitenzorg und für Wageningen ermittelten Werte (0,6) „eine anscheinlich stärkere Transpiration bedeutet“. Danach hätte der Unger'sche *Helianthus* im Wiener Schatten viel mehr transpiriert als der Giltay'sche *Helianthus* in der Sonne Wageningens. Giltay hat dieses Rätsel zu lösen versucht. Unger gibt an, die Pflanze habe zu Anfang des Versuches acht entwickelte Blätter mit 229 qcm „Fläche“ gehabt. Haberlandt hat nun geglaubt, daß dies die ganze Blattoberfläche (Oberseite + Unterseite) sei, und Giltay fordert Haberlandt auf, einen *Helianthus annuus* zu suchen, dessen acht entwickelte Blätter eine Gesamtoberfläche von 229 qcm hätten. (Ein einzelnes Blatt würde dann durchschnittlich eine Flächenausdehnung von nur 14,3 qcm haben!) Da somit die in Rechnung genommene, transpirierende Oberfläche:  $274 \times 2 = 548$  qcm betrug, so ergibt sich für die Transpirationsgröße der Schattenpflanze Unger's 0,42 g, welcher Wert dem von Giltay für die Sonnenpflanze gewonnenen (0,60 g) nicht widerspricht. (Wir erinnern uns hier einer Erfahrung von Boussingault, nach welcher die Transpiration eines *Helianthus tuberosus* in der Sonne achtmal so groß war wie im Schatten.)

Haberlandt teilt nun, da ihm die Unger'schen und Giltay'schen *Helianthus*-Pflanzen „zu jung“ waren, drei Versuchsreihen mit, die er in Graz mit „fast ausgewachsenen“ Pflanzen durchgeführt hat. Die betreffenden Freilandpflanzen wurden in Töpfe verpflanzt, diese in entsprechend adjustierte Zinkblechgefäße verschlossen und im botanischen Garten so aufgestellt, daß sie (an sonnigen Tagen) bis gegen 5 Uhr nachmittags direktes Sonnenlicht empfangen konnten. In der Nacht und während des Regens standen sie unter Dach. Die Transpiration betrug pro Stunde und qdm Blattfläche bei den drei Pflanzen: I. 0,73 g, II. 0,71 g, III. 0,75 g, im Mittel 0,73 g. Die Transpiration war also immer noch nach Haberlandt „anscheinlich mehr“, als die der Giltay'schen Pflanzen in Buitenzorg und in Wageningen. Allein in Wirklichkeit ist der Unterschied bloß 0,13 und kürzt man (konform mit Giltay) auf eine Dezimale (die zweite

ist ja ohnehin nicht verbürgt), so reduziert sich die „ansehnliche Differenz“ auf  $0,7 - 0,6 = 0,1$  g. Kann man also vielleicht sagen, die Transpiration war in Mitteleuropa mindestens 2—3 mal größer als im „feucht-warmen Tropengebiet“?

Wie bedeutend die Transpiration in Buitenzorg sein kann, geht aus den nachfolgenden, an Ort und Stelle gemachten Beobachtungen Wiesner's (326) hervor. Derselbe ließ (zum Zweck Studiums der Regenwirkungen) gesunde Pflanzen von *Coleus*, *Adiantum*, *Jatropha*, *Mimosa* eintopfen und die Töpfe im Boden eingraben. Die Pflanzen hielten sich gut. Der 29. Dezember war ein vollkommen regenfreier Tag, der Vormittag war sonnig und am Mittag war die Sonne vollkommen unbedeckt. An diesem Tage gingen alle Versuchspflanzen (welche an demselben Tage auch nicht begossen wurden) durch Verdorren zugrunde. Eine zweite Versuchsreihe mit denselben Pflanzen begann am 30. Dezember; sie hielten sich sehr gut bis zum 16. Januar, einem regenlosen, zum Teile sonnigen Tage, an welchem alle Versuchspflanzen den Zustand des höchsten Welkens darboten, *Adiantum* aber vollkommen vertrocknete. „Ich führe,“ sagt Wiesner, „dies besonders an, weil noch immer die Meinung verbreitet ist, daß im heiß-feuchten Tropengebiete die Transpiration sehr gering ist. Die angeführte Beobachtung lehrt aber, welch' enorme Transpiration selbst bei der hohen Luftfeuchtigkeit in den Tropen sich einstellen kann, und sich immer einstellt, wenn die Organe insoliert sind. Man denkt bei der Beurteilung der Transpirationsverhältnisse der Pflanze des heiß-feuchten Tropengebietes gewöhnlich nur an die dort herrschende, zumeist enorm hohe Luftfeuchtigkeit und übersieht die von mir schon seit langer Zeit konstatierte Steigerung der Verdunstung grüner Pflanzenteile im Lichte infolge Umsetzung des in das Chlorophyll einstrahlenden Lichtes in Wärme.“

Diese Beobachtungen Wiesner's habe ich in meiner Gegenschrift angeführt. Haberlandt erwidert in der Replik: „Läßt sich daraus auch nur die geringste Folgerung betreffs der Größe der Transpiration unter normalen Verhältnissen an den natürlichen Standorten der betreffenden Pflanzen ableiten? Ebenso gut könnte Burgerstein eine vor Nässe triefende Hymenophyllacee aus dem Urwalde heraus in die Sonne stellen, sie noch dazu recht trocken halten und aus ihrem Verdorren den Schluß ableiten, daß auch die Hymenophyllaceen enorm stark transpirieren können.“ Gewiß würde ich das sagen, aber auch beifügen, daß dieses Experiment gar keinen Wert hätte, weil eben die Transpiration einer derartigen Hyme-

nophyllacee an ihrem natürlichen Standorte nur sehr gering sein kann, und dieselbe daher an sonnigen Standorten, an denen so viele Tropenpflanzen vorzüglich gedeihen, ehestens zugrunde gehen müßte. Ich habe dann (315) mit Angabe der Licht-, Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse zwei Versuchsreihen (Transpirationsbestimmungen) angeführt, die Wiesner in Buitenzorg mit bewurzelten Reispflanzen ausgeführt hat; ferner je eine Versuchsreihe mit Blättern von *Amherstia nobilis*, die ebendort von Wiesner und von Figdor gemacht wurde. Die beiden Autoren haben mir ihre Beobachtungen freundlichst zur Publikation überlassen.

## Reispflanze A.

Versuchszeit Uhr a. M.	Temperatur	Relative Feuchtigkeit	Beleuchtung	Transpiration pro Stunde
6,50—7,50	22,0—22,5°	95—96	diffus	0,81 g
7,50—9,17	22,5—23,8°	89—95	170 Min. diffus } 17 „ So—S <sub>2</sub> }	2,32 „
7,20—10,10	25,0—25,2°	82—94	So—S <sub>2</sub>	7,45 „
10,11—10,19	25,2—28,5°	73—72	S <sub>3</sub> —S <sub>4</sub>	10,57 „

## Reispflanze B.

Versuchszeit Uhr	Temperatur	Relative Feuchtigkeit	Beleuchtung	Transpiration pro Stunde
8,43—9,00	26,2°	82	Sonne	15,35 g
9,00—9,15	27°	70	diffus	0,09 „
9,18—9,34	27,2°	?	Sonne	8,91 „
9,39—10,10	27°	74	diffus	2,95 „

Die für die Sonnenbedeckung gewählten Bezeichnungen bedeuten: So Sonne vollständig bedeckt; S<sub>1</sub> Sonne nur als heller Schein am Himmel sichtbar; S<sub>2</sub> Sonne als Scheibe zu sehen; S<sub>3</sub> Sonne nur von leichtem Dunst oder von einem zarten Wolken-schleier bedeckt; S<sub>4</sub> Sonne vollkommen unbedeckt erscheinend.

*Amherstia* A. (Versuch von Wiesner.)  
Transpiration pro Stunde und 100 g Blattlebendgewicht.

	Rotes Blatt	Grünes Blatt
Bedeckter Vorraum . . . . .	1,22 g	1,00 g
Freie Exposition So . . . . .	1,88 „	2,56 „
„ „ S <sub>2</sub> . . . . .	2,40 „	5,33 „
„ „ S <sub>4</sub> . . . . .	3,11 „	8,44 „

## Amherstia B. (Versuch von Figdor.)

Transpiration (in Gramm) pro Stunde und I. 100 g Blattelebengewicht,  
II. 100 qcm Blattoberfläche.

Versuchszeit Uhr	Temperatur	Relative Feuchtigkeit	Aufstellung	I.	II.
8,25—9,8	25,0—27,0 <sup>0</sup>	70—81	frei, S <sub>1</sub> —S <sub>2</sub>	6,23	0,17
9,8—9,41	27,0—27,5 <sup>0</sup>	70—71	„ S <sub>2</sub> —S <sub>3</sub>	7,77	0,18
9,41—10,15	27,1—27,5 <sup>0</sup>	69—74	(diffus. Bedeckter)	4,47	0,10
10,15—11,20	27,1—28,1 <sup>0</sup>	69—74	(Vorraum)	3,69	0,08

Aus vorstehenden Zahlen geht der mächtige Einfluß der Insolation bei gleichzeitig großer Luftfeuchtigkeit auf die Transpiration hervor. Hätte daher Haberlandt seine Versuche mit bewurzelten, frei exponierten Pflanzen gemacht, so wäre er zu anderen, der Wirklichkeit näherstehenden Resultaten gekommen.

Wenn mir Haberlandt vorwirft, daß ich die von Wiesner-Figdor ermittelten Transpirationsgrößen mit den von Haberlandt in Buitenzorg festgestellten verglichen habe, statt daß ich, „was allein richtig gewesen wäre, die Transpirationsgröße besonnener Pflanzen in unserem Klima herangezogen hätte“, so bemerke ich, daß es sich mir ja gar nicht darum handelte, festzustellen, um wieviel die Transpiration in Mitteleuropa größer oder kleiner ist, als im heiß-feuchten Tropengebiete, sondern daß ich nur darauf hinweisen wollte, daß die von Haberlandt berechneten Zahlen mit Rücksicht auf seine Versuchsanstellung eine richtige Vorstellung von den tatsächlichen Transpirationsverhältnissen im heiß-feuchten Tropengebiete zu geben nicht imstande sind. Ich habe insbesondere mit Rücksicht auf die Befunde von Mac Nab, Leitgeb und Stahl betont, daß eine hohe relative Luftfeuchtigkeit bei verdunkelten oder beschatteten Pflanzen (z. B. unter einem matten und mit Schlinggewächsen bedeckten Glasdach) die Transpiration bedeutend deprimiert, daß aber dieselbe hohe Luftfeuchtigkeit für insolierte Pflanzen von untergeordneter Bedeutung ist. Das hat Haberlandt nicht abgeleugnet, ebenso wie er nicht behaupten könnte, daß es unmöglich ist, in einer Waschküche bei einer Luftfeuchtigkeit von 100 % Wasser zum Sieden (und Verdampfen) zu bringen. Die Heranziehung besonnener Pflanzen ist nicht meine, sondern wäre die Aufgabe Haberlandt's gewesen; er hätte dann wahrscheinlich nicht gefunden, daß die Transpiration in Buitenzorg mindestens 2—3 mal schwächer ist als in Graz.

Haberlandt erwidert gegenüber Stahl, Giltay und mir, „er habe bei seinen Versuchen in erster Linie an die Laubblätter im tropischen Urwald gedacht“. Wenn dies der Fall war, warum hat er es nicht ausdrücklich gesagt, und warum spricht er dann bei Zusammenfassung seiner Resultate vom „feucht-warmen Klima West-javas“, oder noch allgemeiner vom „feucht-warmen Tropenklima“? Bestehen denn die feucht-warmen Tropengebiete aus lauter Urwäldern? Haberlandt bespricht auch die Reisversuche Wiesner's und wirft mir vor, daß ich den tatsächlichen Transpirationsverlust innerhalb der einzelnen Zeiträume nicht angegeben habe. Darauf bemerke ich, daß dies erstens überflüssig ist, und zweitens, daß sich aus den von mir mitgeteilten Daten die gewünschten Werte sofort leicht berechnen lassen. Wenn z. B. in meiner Tabelle angegeben ist, daß während der Versuchszeit von 7<sup>h</sup> 20' a. m. bis 10<sup>h</sup> 10' a. m. die Transpiration pro Stunde 7,45 g betrug, so ergibt sich nach der Proportion: 60' : 170' = 7,45 g : x, daß x, i. e. der Transpirationsverlust innerhalb des Zeitraumes 21,11 g war.

Zum Vergleiche der Wiesner'schen Reisversuche in Buitenzorg stellte Haberlandt ähnliche Versuche mit fünf Reispflanzen im Grazer botanischen Garten an. Die Lebendgewichte der transpirierenden Teile betragen: 0,35, 0,75, 1,86, 3,10, 3,39 g; die pro Stunde und 100 g berechneten Wasserverluste waren: 177,1, 106,7, 52,6 47,7, 58,4 g. Vergleichen wir nun die Resultate von Wiesner und Haberlandt: Für Wiesner's Reispflanze A berechnet sich die Transpiration in der Sonne pro Stunde und 100 g Lebendgewicht (der transpirierenden Teile) auf 49,16 g; für die Reispflanze B bei der ersten Sonnenexposition auf 82,08 g, bei der zweiten auf 47,64 g. Dieser Unterschied (82 und 47) ist allerdings, wie Haberlandt richtig bemerkt, auffallend. Allein eliminiert man die Zahl 82,08, da in ihr möglicherweise irgend ein Versehen während des Versuches involviert sein kann (ihre Beibehaltung würde ja ohnedies zuungunsten Haberlandt's in die Wagschale fallen), so ergibt sich als Mittel zwischen 49,16 und 47,64 g der Wert von 48,4 g als durchschnittliche Transpirationsgröße der Wiesner'schen Reispflanzen in Buitenzorg pro Stunde und 100 g Lebendgewicht bei direkter Insolation. Ziehen wir nun aus den Haberlandt'schen Berechnungen das Mittel der drei älteren Reispflanzen, denn nur diese sind den Wiesner'schen Ergebnissen gegenüberstellbar, so resultiert ein Wert von  $(52,6 + 47,7 + 58,4) : 3 = 52,9$  g, der von der Wiesner'schen Zahl (48,4) wenig differiert. Die Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse waren:

Haberlandt: T. = 18,5—22,3<sup>o</sup> C; rel. Feucht. 45—56 %.

Wiesner: T. = 25,5—28,5<sup>o</sup> C; rel. Feucht. 72—73 %.

Es ergibt sich daher für die Reispflanzen in Buitenzorg bei höherer Lufttemperatur und gleichzeitig hoher Luftfeuchtigkeit nahezu derselbe Transpirationswert wie in Graz bei niedrigerer Temperatur und Feuchtigkeit, also wesentlich dasselbe Resultat, welches Giltay bezüglich *Helianthus* gefunden hatte.

In seiner ersten Abhandlung gibt Haberlandt (275) an, daß bei den Gewächsen des javanischen Flachlandes „so häufig Einrichtungen vorhanden sind, welche auf Transpirationsschutz im weitesten Sinne des Wortes hindeuten“. Aber welchen Zweck sollen so viele Schutzeinrichtungen haben für Pflanzen, welche mindestens 2—3 mal weniger transpirieren als die Gewächse Mitteleuropas und selbst im Falle einer ebenso großen Wasserausgabe wie in Mitteleuropa das Defizit aus dem wasserreichen und warmen Boden leicht ersetzen können? Darauf antwortet Haberlandt: „Wenn auch die Gesamttranspiration relativ gering ist, so erreicht doch die Transpiration in den wenigen, sonnigen Vormittagsstunden namentlich bei direkter Insolation so beträchtliche Werte, daß die Gefahr des Welkens (trotz der Schutzeinrichtungen) sehr nahe gerückt ist.“ Ferner schreibt Haberlandt in seiner „Tropenreise“ (S. 77): „Die Laubkronen waren stark gelichtet, einzelne Bäume gänzlich verdorrt (also nicht nur Hymenophyllaceen aus dem Urwald), die Stengel und Blätter der Epiphyten derart eingeschrumpft, daß ihre Wiederbelebung ausgeschlossen schien.“ — Wie man dann die Gesamttranspiration feucht-warmer Tropengebiete so gering schätzen kann, weiß ich mir nicht zu erklären.

Der fünfte Autor, der bis jetzt gegen Haberlandt auftrat, ist Stenström (305). Es mag wohl fraglich sein, sagt letzterer, ob man die Transpiration, vor allem die tropische, nach einigen Versuchen, die im Schatten geschehen sind, beurteilen kann? Stenström zitiert dann verschiedene Stellen aus Haberlandt's „Tropenreise“, aus denen hervorgeht, daß das tropische Laubblatt „vorzugsweise dem intensiven, tropischen Sonnenlichte angepaßt zu sein scheint“. Es darf dann niemand wundernehmen, fährt Stenström fort, daß die Transpiration im Schatten (darunter ist der Pavillon mit dem matten Glasdach gemeint) ein Minimum wird und sogar unvorteilhafter ausfällt, als bei Pflanzen in unserem Klima unter gleichen Verhältnissen; denn um das dickwandige, langlebige tropische

Laubblatt sozusagen wach zu rütteln, ist ein bedeutend stärkerer Impuls erforderlich, als bei unseren anders gebauten, kurzlebigen Laubblättern. Hätte Haberlandt die Transpiration tropischer Pflanzen mit der europäischer Gewächse mit sempervirenten statt mit abfallenden Blättern verglichen, so würden sich die Verhältnisse gewiß ganz anders gestaltet haben. Auch ist nach Stenström nicht zu vergessen, daß Buitenzorg einer der regenreichsten Orte ist, wozu noch kommt, daß Haberlandt die dortigen Transpirationsverhältnisse gerade während der Regenzeit „studierte“.

Auf die Duplik von Giltay ließ Haberlandt (341) eine „Erwiderung“ folgen. Dieselbe beginnt mit folgenden Worten: „Auf die polemischen Ausführungen E. Giltay's habe ich, da durch dieselben die in meiner Arbeit „Über die Größe der Transpiration im feuchten Tropenklima“ mitgeteilten Tatsachen nicht die geringste Widerlegung erfahren haben, (?) nur wenig zu erwidern.“ — Aber Giltay hat ja die Richtigkeit der von Haberlandt mitgeteilten „Tatsachen“ gar nicht bestritten. Weder die gefundenen Transpirationsgrößen der in Buitenzorg unter dem matten Glasdach aufgestellten Zweige und Blätter, noch jene der Grazer Pflanzen, noch auch die meteorologischen Angaben. Was aber Giltay (und andere) eingewendet haben und was Haberlandt nicht widerlegt hat, war, daß man das Klima von Buitenzorg nicht mit dem Klima von ganz Westjava oder mit dem feucht-warmen Tropengebiete überhaupt identifizieren kann, und daß die Versuche Haberlandt's nach der ganzen Art ihrer Ausführung zu der strikten Behauptung, „daß die Transpiration in einem feucht-warmen Tropenklima mindestens um das Zwei- und Dreifache hinter den Transpirationsgrößen, wie sie in unserem Klima gewöhnlich sind, zurückbleibt“, nicht berechtigen. Auf die Äußerung Haberlandt's: „Bei der Größe der Transpiration im feuchten Tropenklima und bei uns in Mitteleuropa handelt es sich zunächst nicht um theoretische Betrachtungen, sondern um die direkten Versuchsergebnisse“, antwortet Giltay in seiner „Gegenerwiderung“ (348), daß Haberlandt diesbezüglich ganz Recht hat, daß es aber für die Brauchbarkeit der Resultate auch darauf ankommt, wie die Versuche ausgeführt werden.

Haberlandt verteidigt noch immer die Ansicht, daß die Transpiration im feucht-warmen Tropengebiete wegen der hohen relativen Luftfeuchtigkeit gering sein müsse. Giltay macht jedoch darauf aufmerksam, daß die Transpiration weniger durch die Luftfeuchtigkeit als vielmehr durch das Sättigungsdefizit der Luft beeinflußt werde, das bei der hohen Temperatur in den Tropen relativ groß ist.

Haberlandt hat Giltay auch den Vorwurf gemacht, daß letzterer bei Berechnung der Wasserdampfdefizitzahlen für Paris und Batavia die Nachtzeit ausgeschaltet habe; dies wäre — meint Haberlandt — zulässig für die Tropen, „wo die Transpiration in der Nacht ganz oder fast ganz sistiert ist“, nicht aber für Mitteleuropa. Giltay hat nun nachträglich auch für die Nachtzeit die Defizitzahlen berechnet und für Paris (1883—1892) 1,9, für Batavia (1886—1895) 2,07 gefunden. Es fehlt also zu Batavia trotz der „enormen Luftfeuchtigkeit“ mehr an der Sättigkeit der Luft mit Wasser als in Paris.

Zum Beweise, daß in Mitteleuropa auch nachts eine ausgiebige Transpiration stattfinden kann, zitiert Gottlieb Haberlandt die Versuchsergebnisse seines Vaters (Friedrich Haberlandt) mit Getreidepflanzen, und zwar die Transpirationsgröße pro qdm in einer Tagesstunde, einer Morgen-Abendstunde und einer Nachtstunde. Giltay findet (347), daß Gottlieb Haberlandt, schlecht gerechnet und die Zahlen 5—6mal zu hoch angegeben habe. Ich habe deshalb aus den Originaltabellen Friedrich Haberlandt's die sich für eine Tages-, resp. Nachtstunde ergebenden Transpirationszahlen ausgerechnet und bemerke, daß ich dieselben Zahlen bekam wie Giltay.

Wohl ganz irrelevant für die in Frage stehenden Transpirationsverhältnisse ist der folgende Einwand Haberlandt's: Giltay fand, wie schon erwähnt, in Buitenzorg für *Helianthus annuus* die Transpirationszahl von 0,6 pro Stunde und qdm Blattfläche, Haberlandt in Graz 0,73 g. Die Differenz wäre also 0,13. Giltay hat nun mit Vernachlässigung der zweiten Dezimale die Differenz gleich 0,1 angenommen. Haberlandt fordert in seiner „Erwiderung“ die Abrundung nach oben, also 0,75, wodurch sich zwischen ihm (Graz) und Giltay (Buitenzorg) die „ansehnliche“ Differenz von 0,15 g = 21 Proz. ergibt. Aber es muß jeder, der eine nur halbwegs größere Zahl von Transpirationsversuchen gemacht hat, zugeben, daß es in diesem Falle ganz gleichgültig ist, ob man 0,73 auf 0,70 oder auf 0,75 abrundet; denn die Zahl 0,73 g ist keine konstante, weil ein zweiter Versuch mit einem anderen *Helianthus*-Individuum oder in einer anderen Vegetationsperiode ebensogut den Wert 0,6 oder 0,8 ergeben könnte. Wäre aber, um auf den Kern der Frage zu kommen, die Transpiration in Mitteleuropa mindestens 2—3mal größer als im feucht-warmen Tropengebiete, dann müßte der Transpirationsunterschied von *Helianthus* in Buitenzorg und in Graz, wie Giltay bemerkt, nicht 21, sondern 200—300 Proz. betragen!

Noch einmal kommt Haberlandt (341) auf die Unger'sche *Helianthus*-Pflanze zu sprechen und will aus zwei Zitaten von Unger



deduzieren, das letzterer (mit 229 qcm) die wirkliche Oberfläche, also das Flächenmaß der Oberseite plus der Unterseite der Blätter in Rechnung nahm, während Giltay behauptet, daß Unger nur die Größe der einfachen Blattfläche gemeint hat. Giltay (348) erwidert darauf, daß nach dem Wortlaut jener zwei Zitate Haberlandt ebenso wie Giltay recht haben kann. Liest man Unger's Abhandlung genau durch, so weiß man wirklich nicht, was Unger unter den verschiedenen Ausdrücken: „Flächenausdehnung“, „Flächenmaß“, „Blattfläche“, „Oberfläche“ gemeint hat. Auffallend ist, daß Unger bei seiner präzisen Schreibweise wohl angibt (S. 195), daß man nach Abzeichnung des Blattrandes auf eine matte, in Quadratdezimeter (soll vielleicht heißen Quadratzentimeter) geteilte Glastafel „den Umriß und das damit verbundene Quadratmaß der Blätter“ hat, dagegen nicht beifügt, daß man dieses Quadratmaß für die Bestimmung der Blattoberfläche zu verdoppeln habe. Auch die Angabe Unger's, daß die Helianthus-Pflanze „acht entwickelte Blätter mit 229 qcm Fläche besaß“, spricht dafür, daß damit nur der Flächeninhalt und nicht die wirkliche Oberfläche gemeint ist. Übrigens ist selbst in diesem Falle die Zahl 229 qcm eine auffallend kleine. Ich habe bei erwachsenen Helianthus-Pflanzen (im Herbste) Blattmessungen vorgenommen; die jüngsten Blätter bedeckten eine Fläche von durchschnittlich 100 qcm, die älteren eine solche von 200 qcm, die ältesten und größten von 300 qcm pro Blatt.

Schließlich sei, um Mißverständnissen vorzubeugen, noch einmal bemerkt, daß es sich den Autoren, die contra Haberlandt geschrieben haben, nicht darum gehandelt hat, zu erfahren, um wieviel die Transpiration im feucht-warmen Tropenklima größer oder kleiner ist als im mitteleuropäischen Klima, sondern lediglich darum, darzutun, daß Haberlandt's Transpirationsversuche ihn zu den aus denselben gezogenen Schlüssen nicht berechtigen. Denn darin stimmen wohl alle überein, daß es nicht angeht, die in *absentia solis* für ein paar Tage ermittelte Transpiration abgeschnittener Zweige oder Blätter von ein paar Pflanzenarten für die tatsächliche Jahresleistung eines ganzen Vegetationsgebietes zu substituieren.

Neuere Untersuchungen über die Transpirationsgröße in den Tropen stellte Holtermann auf der Insel Ceylon an und zwar sowohl in den feuchtwarmen Gegenden des südöstlichen Teiles als auch in den trockenheißen Gegenden des nördlichen Teiles der Insel; ferner im botanischen Garten von Paradentia. Es muß lobend hervorgehoben werden, daß Holtermann ausschließlich Topfgewächse

verwendete, diese dann an solchen Orten aufstellte, die meteorologisch den natürlichen Standortsverhältnissen möglichst entsprachen und die Transpiration durch Wägung ermittelte. Was speziell die Transpirationsverhältnisse im feucht-warmen Tropengebiet betrifft, so findet Holtermann, daß der Haberlandt'sche Satz — die Transpiration der Gewächse im feucht-warmen Tropenklima sei mindestens um das 2—3fache geringer als die der Pflanzen im mitteleuropäischen Klima — für solche Tage gilt, an denen es in den Tropen neblig, in Mitteleuropa warm und sonnig ist. „Aber sonst findet in den Tropen zu gewissen Stunden eines klaren Tages (hauptsächlich in den ersten Nachmittagsstunden) eine Transpiration statt, die unzweifelhaft weit größer als in Europa ist.“ — „Soweit ich aus meinen Versuchen einen Schluß ziehen darf, ist jedoch die Gesamttranspiration in 24 Stunden geringer als in Europa.“

Es ist wohl kaum möglich, für die Transpirationsgröße in den „Tropen“ und in „Europa“ eine allgemeine Formel zu finden, und die Erfahrungen von Holtermann haben die Gültigkeit des wiederholt zitierten Satzes Haberlandt's über die Transpiration im feucht-warmen Tropengebiet weder bestätigt noch widerlegt. Holtermann drückt sich über dieses Thema überhaupt reserviert aus. Die vielleicht auffällige Tatsache, daß der Autor in seiner, allerdings „vorläufigen Mitteilung“ keine Literaturangaben macht, nicht einmal eine der ihm bekannten Arbeiten von Haberlandt zitiert, dürfte sich aus der Sachlage der ganzen Frage, zu der vielleicht auch noch andere Umstände treten, erklären. Weitere Versuche, die Holtermann mit für die trockenen Nordprovinzen Ceylons charakteristischen Holzpflanzen angestellt hat, ergaben eine relativ geringe Transpiration infolge verschiedener Anpassungen an Boden und Klima, welche die Verdunstungstätigkeit herabsetzen, und die der Autor für die einzelnen Fälle bekannt gibt.

---

## XXV. Transpirationsverhältnisse im arktischen Gebiete.

---

Eine Reise durch Norwegen benützend, führte Curtel (253) auf der Poststation Kongsvold auf dem Dovrefield (n. Br. ca. 62<sup>o</sup>, See-

höhe 900 m) physiologische Experimente aus. Zu Transpirationsversuchen diente ein Uförmig gebogenes Rohr, in dessen einem Schenkel luftdicht eine bewurzelte Roggenpflanze befestigt war (Wurzeln im Rohr, Halm in der Luft), während der andere Schenkel mit einer horizontalen, englumigen Glasröhre in Verbindung stand. Diese, sowie das U-Rohr waren mit Wasser gefüllt. Aus der Verkürzung der Wassersäule in der englumigen Glasröhre wurde auf die Größe der „Transpiration“ geschlossen. Die Versuche fanden während zweier Sommernächte (30.—31. Juli, 31. Juli — 1. August) statt; die Temperatur schwankte von 2,5 bis + 11,4° C, die Luftfeuchtigkeit zwischen 68—100 Proz. Die Transpiration (recte Wasseraufnahme) nahm ziemlich gleichförmig mit dem Sinken der Sonne ab; das Minimum stellte sich von 10 Uhr abends bis Mitternacht ein; gegen  $\frac{1}{2}$  I Uhr morgens (Rückkehr der Sonne) nahm die Saugung wieder kontinuierlich zu. Auch das Minimum der Assimilation korrespondierte mit dem Minimum der Helligkeit. Die Kürze der Vegetationszeit wird also dadurch kompensiert, daß Assimilation und Transpiration fast ohne Unterbrechung Tag und „Nacht“ vor sich gehen. Vergleichende Transpirationmessungen im arktischen Gebiet verdanken wir Wulff (370), der solche während seines Aufenthaltes auf Spitzbergen vornahm. Die betreffenden Pflanzen: *Cerastium alpinum*, *Dryas octopetala*, *Oxyria digyna*, *Papaver radicum*, *Polygonum viviparum*, *Potentilla pulchella*, *Salix polaris*, *Saxifraga caespitosa* und *nivalis*, *Taraxacum phymatocarpum*) stammten von einem Standorte bei Hekla Cove an der Nordküste von Spitzbergen (79° 56' n. Br.). Die Kobaltprobe ergab: 1. „Abwesenheit von Tages- und Nachtperiode, was auch erwartet werden konnte in Gegenden, wo Insolation, Temperatur und Luftfeuchtigkeit während der Vegetationsperiode Tag und Nacht über annähernd konstant bleiben.“ (Ein analoges Resultat erhielt, wie aus dem Früheren hervorgeht, Curtel für die hellen Sommernächte im nördlichen Norwegen.) 2. Eine im allgemeinen ziemlich beschränkte Regulationsfähigkeit der Transpiration seitens des Laubes, die gleichfalls auf die nur innerhalb enger Grenzen variierenden, täglichen meteorologischen Faktoren zurückzuführen ist. Deutliche Transpiration war auch noch bei einer Temperatur von + 2° nachweisbar. Ferner fand Wulff eine gewisse Proportionalität zwischen Transpirationsgröße und Substanzproduktion der arktischen Pflanzen.

---

## XXVI. Guttation.

Daß die in der Pflanze herrschenden Druckkräfte einen wesentlichen Einfluß auf die Größe der Wasserabgabe ausüben müssen, ist nach dem, was man über Wurzelkraft, Saftsteigen, Blutungsdruck, Saftausfluß etc. weiß, selbstverständlich. Bestätigt wurde es durch direkte Versuche von Wiesner (88), welcher fand, daß abgeschnittene, im Wasser stehende Zweige (*Maclura*, *Berberis*, *Buxus*) unter Quecksilberdruck stärker transpirieren als ohne Druck. Diese Steigerung der Wasserabgabe infolge der künstlichen Druckkraft war bei sommergrünen Laubböhlzern bedeutender als bei wintergrünen. Zu demselben Resultat kam später Boussingault (147). Bei beblätterten, in Wasser stehenden Zweigen (*Vitis*, *Morus*, *Aesculus*, *Castanea*, *Abies*) erhöhte sich bei Anwendung eines hydrostatischen Druckes einer 1—2 m hohen Wassersäule die Transpiration bedeutend, bisweilen auf das Dreifache. Auch hat bereits Sachs darauf hingewiesen, daß im Wasser stehende, welkende Sprosse durch Wassereinpressung mittels Quecksilberdruck wieder frisch gemacht werden können.

Im Widerspruch hierzu und gewiß falsch ist der Befund von Böhm (65), daß bewurzelte und nicht bewurzelte Weidenzweige unter „großem Quecksilberdruck“ nicht mehr transpirieren als „unter gewöhnlichen Verhältnissen“. Als Kuriosum mag erwähnt werden, daß Reinitzer (187) in bewurzelte Pflanzen eine Nährstofflösung mittels Quecksilberdruck einpreßte.

Tritt nun in eine bewurzelte Pflanze infolge eines genügend großen Wurzeldruckes oder in einen abgeschnittenen, beblätterten Sproß infolge künstlicher Wasserimpression relativ viel Wasser ein, und ist gleichzeitig die Transpiration z. B. infolge großer relativer Luftfeuchtigkeit herabgesetzt, so kann dreierlei eintreten: a) eine mehr oder minder weitgehende Injektion der Blattintercellularen, oder b) Wasserausscheidung in Tropfenform nach außen oder c) beides. So zeigten nach Moll (177) von 63 Pflanzenarten abgeschnittene, in dunstgesättigtem Raum stehende Sprosse, in deren Schnittfläche Wasser mittels Quecksilberdruck eingepreßt wurde, 19 Injektion, 29 Wasseraustritt in Tropfenform, 15 beide Erscheinungen. Daß in den meisten Fällen (Ausnahmen später) die Guttation eine Funktion des Wurzeldruckes ist, folgt daraus, daß die Erscheinung, z. B. bei Gramineenkeimlingen, wo sie in sehr feuchtem Raume allgemein auftritt, in diesem unterbleibt, wenn man, wie ich beobachtet habe, die Pflänzchen

oberhalb des Samenkornes abschneidet und mit dem Schnittende in Wasser oder in feuchte Erde steckt; ferner, daß es zur Wasserausscheidung in Tropfenform kommt, wenn durch Temperaturerhöhung des Wurzelkörpers dessen Saug- und Druckkraft sich vergrößert, wie Sachs (Vorles. über Pflanzenphysiol.) an einer großen Zahl verschiedener Pflanzen beobachtet hat und drittens, weil durch Einpressung von Wasser (oder von wässrigen Lösungen) in die Schnittfläche beblätterter Sprosse das Austreten von Tropfen an bestimmten Stellen der Blätter hervorgerufen werden kann, wie dies zahlreiche Versuche vieler Autoren ergeben haben. Da die Ausscheidung von Wasser in liquider Form aus (unverletzten) turgeszenten Blättern insbesondere dann stattfinden wird, wenn in diese durch Wurzel- resp. Blutungsdruck mehr Wasser eintritt, als in derselben Zeit in Gasform (durch Transpiration s. str.) abgegeben werden kann, so ist klar, daß alle jene Bedingungen, welche die Transpiration stark herabsetzen ohne gleichzeitig die Wassereinfuhr in nennenswertem Grade zu vermindern, die liquide Wasserausscheidung befördern. In der Tat wurde diese Erscheinung (bei normalen, bewurzelten Pflanzen) in der Regel während der Nacht, am Morgen, an feuchtkühlen Tagen oder nach Überdecken der Pflanzen mit einem (eventuell mit nassem Löschpapier ausgekleideten) Sturz konstatiert. Das Hervortreten der Wassertropfen erfolgt in der Regel an den Blattspitzen, den Blattrandzähnen und an Blatthaaren. Bisweilen sind die betreffenden Stellen durch Färbung, Anschwellung und andere Eigentümlichkeiten äußerlich kenntlich.

Wieler (279) faßt den Ausdruck „Bluten der Pflanzen“ in einem weiten Umfang auf; denn er subsumiert darunter: a) den Saftaustritt infolge Verletzung; b) die Tropfenausscheidung aus unverletzten Blättern und aus Pilzen; c) die Sekretion der Digestionsdrüsen. Mir scheint es jedoch zweckmäßiger, die Ausdrücke „bluten“ resp. „tränen“ oder gar „weinen“ (bei Baranetzky) wie bisher für die Erscheinung des (quantitativ bisweilen beträchtlichen) Saftaustrittes aus Schnittflächen, Borlöchern und anderen Wunden verletzter Pflanzenteile beizubehalten. Für die Wasserausscheidung in Tropfenform an unverletzten Blättern habe ich die Bezeichnung Guttation vorgeschlagen (Mat. II, p. 406). Andere Erscheinungen sind die liquide Sekretion an Nektarien, die Ausscheidungen der Digestionsdrüsen bei den insektivoren Pflanzen, die Flüssigkeitsbildungen in den sogenannten Wasserkelchen verschiedener Tropengewächse etc.

Die Beobachtungen über Guttation sind zahlreich und diesbezügliche Literaturangaben reichen bis zum Jahre 1672 zurück. Bei-

träge zur Kenntnis guttationsfähiger Pflanzen haben namentlich Graf, Hartig, Unger, Duchartre, Langer, Moll, Volkens, Haberlandt, Nestler, Spanjer, Minden und Edelstein geliefert. Nominelle Zusammenstellungen guttierender Pflanzen auf Grund von Literaturangaben haben Wieler und Spanjer veröffentlicht. Wieler führt (im J. 1892) 63 Familien und 194 Gattungen an. Im folgenden gebe ich ein Verzeichnis von 241 Gattungen aus 101 Familien, bei denen Tropfenausscheidung beobachtet wurde; selbstverständlich kann es nicht Anspruch auf Vollständigkeit machen. Übrigens ist es ja zweifellos, daß sich die Kenntnis guttationsfähiger Pflanzen durch weitere Beobachtungen bedeutend vermehren wird. Aus den in Klammern stehenden Zahlen können die betreffenden Autoren im Literaturverzeichnis gefunden werden.

**Acanthaceae:** Adhatodon (177). — **Alismaceae:** Alisma (204, 343), Damasonium (343), Echinodorus (343), Elisma (343), Sagittaria (343). — **Amaranthaceae:** Amaranthus (343). — **Apocynaceae:** Vinca (8). — **Aroideae:** Alocasia (279), Amorphophallus (107), Arum (14, 44, 368), Caladium (169), Calla [Zantedeschia] (23, 36, 52, 204, 234), Colocasia (1, 27, 55, 71, 368, 372), Pistia (343). — **Asparagaceae:** Polygonatum (324).

**Balsamineae:** Balsamina (Pfeffer), Impatiens (34, 177, 368). — **Begoniaceae:** Begonia (177). — **Berberideae:** Podophyllum (337). — **Betulaceae:** Betula (8). — **Boraginaceae:** Anchusa (343), Borago (204, 343), Corynephorus (343), Cynoglossum (343), Echinosperrum (343), Echium (343), Lithospermum (8), Myosotis (204, 343), Omphalodes (343), Pulmonaria (8), Symphytum (343). — **Butomaceae:** Hydrocleis (343).

**Campanulaceae:** Campanula (8, 343). — **Cannabineae:** Humulus (8, 204). — **Cannaceae:** Canna (36, 343). — **Caprifoliaceae:** Diervilla (367), Sambucus (8). — **Caryophyllaceae:** Agrostema (8, 363), Arenaria (337), Cerastium (363), Cucubalus (363), Dianthus (8, 337, 343, 363), Gypsophila (363), Holosteum (363), Lychnis (343), Malachium (204), Saponaria (343), Silene (8, 50, 337, 343), Spargularia (343), Stellaria (8, 204). — **Chenopodiaceae:** Atriplex (204), Beta (8, 204), Chenopodium (8, 204). — **Comelynaceae:** Dichorisandra (324), Tradescantia (309, 337, 343). — **Compositae:** Arnica (8), Bellis (204), Bidens (8, 204), Calendula (8), Carduus (8), Centaurea (8), Chrysanthemum (8), Cichorium (8), Cineraria (324), Crepis (204), Doronicum (204), Galinsoga (204), Helianthus (8, 309), Heliopsis (204), Hieracium (204), Inula (8), Lactuca (204), Lampsana (204), Leontodon (8), Onopordon (343), Petasites (204), Pyrethrum (204), Rudbeckia (204), Scorzonera (8), Senecio (8, 363), Silphium (204), Sonchus (8, 61, 363), Tagetes (8), Taraxacum (42), Tussilago (8), Zinnia (8). — **Coniferae:** Cupressus (279). — **Cornaceae:** Aucuba (177, 309), Benthamia (301), Cornus (367). — **Crassulaceae:** Bryophyllum (204, 309), Pachyphytum (169), Sedum (169), Sempervivum (177). — **Cruciferae:** Alliaria (204), Arabis (204), Brassica (8, 34, 204, 220, 301), Capsella (363), Cochlearia (8), Hesperis (8), Nasturtium (8, 204). — **Cucurbitaceae:** Cucumis (4, 8, 204), Cucurbita (8), Luffa (337), Momordica (337), Sicyos (204), Trichosanthes (337). — **Cupuliferae:** Carpinus (41), Quercus (8). — **Cyperaceae:** Carex (8, 363), Eriophorum (8), Scirpus (363). — **Cyrtandraceae:** Aeschinanthus (337).

Datisceae: *Datisca* (337). — Dipsaceae: *Dipsacus* (204).

Ericaceae: *Azalea* (363), *Empetrum* (363), *Vaccinium* (363). — Euphorbiaceae: *Mercurialis* (8), *Ricinus* (8).

Fumariaceae: *Corydalis* (204), *Fumaria* (61).

Gentianaceae: *Menyanthes* (8, 204). — Geraniaceae: *Geranium* (204, 337).

— Gramineae: *Aira* (8), *Avena* (8), *Bambusa* (101), *Briza* (8), *Bromus* (8), *Festuca* (8), *Hordeum* (6, 8, 207), *Lolium* (8), *Oryza* (279), *Panicum* (6, 8), *Phalaris* (8), *Poa* (50), *Secale* (8), *Triticum* (8, 114), *Zea* (169).

Hamamelidaceae: *Hamamelis* (307), *Parrotia* (367). — Hippocrateaceae: *Salacia* (290). — Hydrangeae: *Hydrangea* (367). — Hydrophyllaceae: *Hydrophyllum* (337), *Nemophila* (337), *Whitlaria* (337). — Hypericaceae: *Hypericum* (204).

Icacinaceae: *Gonocaryum* (290). — Iridaceae: *Diplarrhena* (279), *Gladiolus* (343), *Iris* (177), *Schizostylis* (324), *Tigridia* (177). — Iuncaceae: *Iuncus* (324, 363), *Scheuchzeria* (343).

Labiatae: *Betonica* (8, 204), *Brunella* (8, 204), *Coleus* (75, 324), *Galeopsis* (204), *Glechoma* (204), *Hysopus* (8), *Lamium* (8), *Leonurus* (204), *Lycopus* (204), *Melissa* (204), *Mentha* (8, 204), *Salvia* (8, 204), *Stachys* (204). — Liliaceae: *Agapanthus* (234), *Allium* (343, 363), *Anthericum* (343), *Lilium* (8, 363). — Lobeliaceae: *Lobelia* (337). — Lythriaceae: *Lythrum* (204).

Malvaceae: *Abutilon* (324), *Althaea* (324), *Hibiscus* (324), *Kitaibelia* (324), *Lavatera* (324), *Malope* (324), *Malva* (324), *Palava* (324), *Plagianthus* (324), *Sidaleca* (324). — Marantaceae: *Maranta* (17), *Thalidium* (343). — Menipermaceae: *Anamirta* (337). — Mimosaceae: *Caliantra* (121). — Moraceae: *Artocarpus* (290), *Conocephalus* (290), *Ficus* (290). — Musaceae: *Musa* (14). — Myricaceae: *Myrica* (367).

Nyctaginaceae: *Mirabilis* (8).

Oleaceae: *Fraxinus* (363), *Syringa* (169). — Onagraceae: *Circaea* (204), *Epilobium* (204), *Fuchsia* (34, 177, 204, 207, 299, 368), *Oenothera* (204, 309). — Orchidaceae: *Cypripedium* (8, 363), *Epipactis* (363), *Listera* (363), *Orchis* (337, 363). — Oxalidaceae: *Oxalis* (204, 279).

Palmae: *Versaffeltia* (324). — Papaveraceae: *Chelidonium* (34, 204), *Escholtzia* (34), *Glaucium* (343), *Papaver* (3, 8, 34, 204, 343). — Papilionaceae: *Dichroa* (177), *Laburnum* (169), *Lupinus* (8), *Phaseolus* (8, 177, 324), *Trifolium* (8). — Philadelphaeae: *Philadelphus* (367). — Phytolaccaceae: *Phytolacca* (177). — Piperaceae: *Charica* (290), *Peperomia* (290), *Piper* (290). — Plantaginaceae: *Litorella* (343). — Platanaceae: *Platanus* (177, 363). — Polygonaceae: *Polygonum* (8, 204), *Rheum* (8, 204), *Rumex* (8). — Pomaceae: *Amelanchier* (367), *Pirus* (8). — Pontederiaceae: *Eichhornia* (343), *Heteranthera* (343). — Portulacaceae: *Calandrinia* (343), *Claytonia* (343). — Primulaceae: *Androsace* (343), *Cyclamen* (309), *Glaux* (343), *Lysimachia* (204), *Primula* (8, 169), *Soldanella* (204). — Prunaceae: *Prunus* (8).

Ranunculaceae: *Aconitum* (8, 204), *Actaea* (204), *Anemone* (8, 169, 204), *Aquilegia* (8, 309), *Caltha* (204), *Delphinium* (169, 204), *Eranthis* (309), *Helleborus* (169, 204, 301), *Paeonia* (169), *Ranunculus* (204, 309), *Thalictrum* (204, 343). — Ribesiaceae: *Ribes* (8, 169, 279, 363, 367). — Rosaceae: *Alchemilla* (8, 61, 204, 337, 368), *Comarum* (204), *Fragaria* (8, 204, 337), *Geum* (204, 337, 343), *Potentilla* (8, 204, 337, 368), *Rosa* (8, 34, 337, 367), *Rubus* (8, 204, 220, 337), *Sanquisorba* (204, 337, 343), *Sibbaldia* (337), *Spiraea* (8, 367), *Tormentilla* (8), *Ulmaria* (204),

Waldsteinia (204). — Rubiaceae: *Asperula* (204, 301), *Galium* (204, 301). — Rutaceae: *Ruta* (8).

Salicaceae: *Populus* (8, 279, 367), *Salix* (8, 363, 367). — Sapindaceae: *Cardiospermum* (337). — Saxifragaceae: *Chrysosplenium* (8), *Heuchera* (204), *Hoteia* (204), *Parnassia* (8), *Saxifraga* (177, 204, 207, 368). — Scrophulariaceae: *Digitalis* (8, 204), *Euphrasia* (8, 363), *Linaria* (204), *Lophospermum* (343), *Mimulus* (34, 204, 309, 324), *Melampyrum* (363), *Rhinanthus* (363), *Verbascum* (8), *Veronica* (204). — Smilacaceae: *Polygonatum* (343), *Smilacina* (343). — Solanaceae: *Atropa* (8), *Capsicum* (8, 343), *Datura* (343), *Hycosyamus* (343), *Lycopersicum* (343), *Nicotiana* (8), *Nycandra* (343), *Solanum* (8, 343). — Staphyleaceae: *Staphylea* (367).

Tamariscineae: *Tamarix* (367). — Tropaeolaceae: *Tropaeolum* (8, 75, 309, 324, 337, 343, 368).

Ulmaceae: *Ulmus* (177, 363). — Umbelliferae: *Aegopodium* (204), *Archangelica* (204), *Astrantia* (204), *Berula* (343), *Chaerophyllum* (204), *Daucus* (204), *Eryngium* (204), *Hydrocotyle* (204), *Pastinaca* (8), *Pimpinella* (8), *Sanicula* (204), *Sium* (8, 204). — Urticaceae: *Pilea* (290), *Urtica* (8, 204, 301).

Valerianaceae: *Valeriana* (204). — Verbenaceae: *Verbena* (337). — Violaceae: *Viola* (204, 343). — Vitaceae: *Ampelopsis* (204, 279), *Vitis* (17, 18, 177, 220, 363).

Zingiberaceae: *Amomum*.

Hydropteridae: *Marsilea* (343, 363), *Pilularia* (343, 363). — Equisetaceae: *Equisetum* (8, 114, 204, 324, 363). — Filicineae: *Aspidium* (44), *Asplenium* (44), *Blechnum* (44), *Hemitelia* (279), *Nephrolepis* (44), *Polypodium* (44, 75, 337), *Woodwardia* (44). — Bryophyta: *Marchantia*, *Polytrichum* (Sachs). — Fungi: *Aspergillus*, *Hypochnus*, *Hypoxylon*, *Merulius*, *Nyctalis*, *Penicillium*, *Peziza*, *Pilobolus*, *Phycomyces*, *Polyporus*, *Sphaeria* (Schmitz).

Die meisten Beobachtungen wurden bei Aroiden gesammelt, welche die Erscheinungen der liquiden Wasserausscheidung leicht und in auffallender Weise zeigen. Am genauesten wurde *Colocasia antiquorum* Schott untersucht, und ich beschränke mich deshalb auf ein Resumé der bei dieser Pflanze von Muntingh, Schmidt, Duchartre (55), Musset und Molisch (372) gewonnenen Erfahrungen. Die Ausscheidung der Wassertropfen erfolgt an (zunächst) der Blattspitze, nach den Angaben von Schmidt, Duchartre und Musset aus zwei Öffnungen, die in einer flachen Aushöhlung liegen. Nach den Untersuchungen von Molisch findet sich (bei *Colocasia mymphaefolia*) etwa 2—3 mm von der Spitze des Blattes eine Längsfurche, die von einer wulstartigen Auftreibung seitlich umsäumt wird (nach Musset „une petite région vulvoide“). Dort liegen 1—4 größere, mit der Lupe wahrnehmbare Öffnungen (Wasserspalt) und neben diesen noch einige kleinere. Die Wasserspalt stellen die Ausführungsöffnungen von großen Intercellularkanälen vor, die sich in den Mittelnerv und den Randnerv verfolgen lassen und die so weit sind, daß man ein „Menschenhaar“ (nach Schmidt eine ziemlich starke Schweinsborste) hineinstecken kann.



Die Anatomie des Colocasiablattes wurde von Duchartre genau beschrieben. Betreffs der Guttationserscheinungen kam dieser Autor auf Grund dreijähriger, an Freilandpflanzen angestellten Beobachtungen zu folgenden Ergebnissen: a) Sobald das junge Blatt aus der Scheide hervortritt, scheidet es schon Tropfen aus; die Guttation erreicht das Maximum, wenn sich das Blatt in vollem Wachstum befindet; wird es älter, so nimmt die Erscheinung ab und ist das Blatt gelb geworden, hört sie auf. b) Die Guttation fand während der ganzen Vegetationsperiode statt; c) sie begann am Abend, erreichte in den Nachtstunden die größte Intensität und hörte bei trockenem Wetter des Morgens auf; bei Regen oder bei Nebel setzte sie sich auch bei Tage fort; wurden die Pflanzen von der Sonne beschienen, so hörte die „transpiration liquide“ auf. d) Die Schnelligkeit der Tropfung sowie die Menge der ausgeschiedenen Flüssigkeit eines Blattes war je nach Umständen sehr ungleich (rund 3—23 Gramm per 12 Nachtstunden). e) Die Bodenfeuchtigkeit hatte einen wesentlichen Einfluß auf die Ergiebigkeit der Guttation; wuchs die erstere, so nahm auch die letztere zu. f) Geringe Erniedrigung der Lufttemperatur begünstigte die Erscheinung; allerdings ist nicht zu vergessen, daß Abkühlung der Luft deren relative Feuchtigkeit vermehrt. g) Die ausgeschiedene Flüssigkeit war (nach Analysen von Berthelot) fast reines Wasser; sie enthielt nur (fast unbestimmbar) kleine Mengen fremder Substanzen ( $\text{CaCO}_3$ ).

Eine interessante und auffallenderweise weder von Duchartre noch von Schmidt erwähnte Erscheinung ist, daß an jugendlichen Colocasiablättern die Tröpfchen nicht immer ruhig aus der Blattspitze hervortreten und abfallen, sondern unter gewissen Bedingungen kräftig ausgeschleudert werden. Diese Entdeckung wurde bereits im Jahre 1672 von Muntingh gemacht und mit folgenden Worten beschrieben: „Wenn die Pflanze das Wasser durch die Wurzelspitzen aufgenommen hat, wirft sie dasselbe des Nachts durch die Blattspitzen wieder aus, wenn die Blätter halb offen und noch aufgerollt sind; das Wasser strömt in einem Bogen wie eine Fontäne aus, so fein und dünn als ein Haupthaar. Wenn die Blätter ganz offen sind, nimmt diese Kraft ab, und sie geben dann aus den Blattspitzen ganze Wassertropfen, so klar wie Kristall, welche auf die Erde fallen und sie befeuchten.“ Einige Jahre nach der Arbeit von Duchartre veröffentlichte Musset eine Abhandlung über die Colocasia. Auch er sah, daß die Wassertröpfchen aus der Blattspitze lebhaft in einem parabolischen Bogen herausgeschleudert wurden: „c'est véritablement une éjaculation de sève aqueuse parfaitement

rhythmique.“ Nach den eingehenden Beobachtungen von Molisch tritt das rhythmische Hervorschleudern der Tröpfchen gewöhnlich nur an den jüngsten, sich aus der Knospe hervorschiebenden, noch eingerollten Blättern kräftig vegetierender Pflanzen ein; bei solchen konnten im feuchtwarmen Gewächshause an einem Blatte bis 163 Tropfen in der Minute gezählt werden. Derselbe Autor gibt auch eine plausible Erklärung dafür, warum das Wasser nicht kontinuierlich, sondern in kurzen Zwischenräumen tröpfchenartig hervorspringt. Musset und Molisch haben auch gezeigt, daß ein ununterbrochener Wasserstrahl für einige Sekunden künstlich erzeugt werden kann, wenn man das noch zusammengerollte Blatt hinter der Spitze (und dadurch die hier bedeutend erweiterten und mit Wasser gefüllten Intercellularkanäle) mit den Fingern drückt. Hat sich die Blattspreite ausgebreitet, so perlen die Tropfen aus der Blattspitze ruhig hervor und vereinigen sich zu einem größeren Tropfen, der dann infolge seines Gewichtes abfällt. Viele Detailbeobachtungen über die Guttation von *Impatiens noli tangere* verdanken wir Graf.

Die Menge der durch Guttation ausgeschiedenen Flüssigkeit hängt von der spezifischen Natur, vom Entwicklungszustand der Pflanze, vom Alter des Blattes sowie von äußeren Umständen ab, welche den Blutungsdruck und die Transpiration beeinflussen. Bestimmte Zahlen wurden fast nur für Aroideen gewonnen, so von Habenicht, Unger (52), Duchartre (55), Musset, Volkens (204), Molisch (372). — Musset zählte bei einem Blatte von *Colocasia esculenta* 85, Duchartre bei *C. antiquorum* etwa 100, Molisch bei *C. nymphaefolia* bis 190 Tröpfchen in der Minute. Sachs (Vorlesung über Pflanzenphysiologie) erhielt aus den Blättern von *Alchemilla* und *Vitis*sprossen mittels Quecksilberdruck in 8 bis 10 Tagen einige hundert ccm Guttationswasser; G. Haberlandt fand die während einer Nacht aus einem ausgewachsenen, 13,02 g schweren Blatte von *Conocephalus ovatus* sezernierte Flüssigkeit 2,76 g, gleich 21,2 Proz. des Blattgewichtes. Nach Messungen von Molisch wurde aus der Spitze eines einzigen *Colocasiablattes* in neun Tagen 1008 ccm Flüssigkeit ausgeschieden. In der Guttationsflüssigkeit wurde von allen Autoren, die solche untersuchten, nach dem Abdampfen ein fester Rückstand gefunden, der bei den darauf geprüften Pflanzen (*Calla*, *Colocasia*, *Conocephalus*, *Brassica*, *Zea*) zwischen einer fast unbestimmbaren Menge und 0,06 Proz. schwankte. Was die substanzielle Beschaffenheit des Rückstandes betrifft, so wurde fast allgemein u. a. Kalziumkarbonat gefunden. Nestler (345, 346) konstatierte im Guttationswasser von

Phaseolus Kaliumbikarbonat, Minden in der aus der Apikalöffnung von *Alisma* und *Damasonium* hervortretenden Flüssigkeit Kalziumchlorid, bei *Nicotiana*-arten Chloride des Kalziums und Magnesiums, *Volkens* bei verschiedenen Wüstenpflanzen Natriumchlorid. Es sei noch darauf hingewiesen, daß möglicherweise einer der älteren Botaniker Tautropfen für durch Wurzelndruck hervorgepreßte Flüssigkeitstropfen gehalten hat. Auch ist zu beachten, daß Wasser an der Außenseite der Stengel, Blattstiele und Blattrippen kapillar gehoben und an den Blattspitzen oder Blatzzähnen zum Abtropfen kommen kann (cf. Arendt in „Flora“ 1842 S. 152).

Nachdem schon Rosanoff (75) die Vermutung ausgesprochen hatte, daß das Vorkommen heteromorpher Spaltöffnungen mit der Fähigkeit der liquiden Sekretion verbunden sei, wurden bekanntlich von De Bary (vgl. Anatomie der Vegetationsorgane) die „Wasserspalt“ (Wassersporen) als besondere Arten der Stomata unterschieden und so benannt, „weil sie unter bestimmten, normalen Bedingungen als Durchtrittsstellen für abgechiedene Wassertropfen dienen“. Insbesondere sollten sie sich durch die Unbeweglichkeit und durch besondere Größe und Gestalt ihrer Schließzellen, sowie durch das zeitweise Vorkommen von Wasser in der Spalte und der darunter liegenden Atemhöhle von den Luftspalten unterscheiden. Es haben jedoch de la Rue (84) und namentlich Langer (169) auf Grund erweiterter Untersuchungen gezeigt, daß jene Stomata, aus denen liquide Sekretion erfolgt, bald wohlkonditionierte Wasserspalt im Sinne De Bary's, bald Spaltöffnungen sensu strictiori sind, ferner, daß beide Spaltöffnungsarten an demselben Blatte durch Übergangsformen verbunden sein können. Außerdem hat später Nestler (301) nachgewiesen, daß beide Spaltenapparate dieselbe Entwicklungsgeschichte zeigen und daß auch bezüglich der Kontraktibilität der Schließzellen kein durchgreifender Unterschied vorhanden ist.

Da nun einerseits eine gewöhnliche Luftspalte Wasser auch in tropfbar-flüssiger Form sezernieren kann, andererseits aber bei günstigen Transpirationsbedingungen aus einer „Wasserspalt“ nur wasserdampfreiche Luft austritt, so kann eine und dieselbe Spaltöffnung morphologisch eine Luftspalte, physiologisch aber (wenigstens temporär) eine Wasserspalt sein — und umgekehrt. Da ferner liquide Wasserabsccheidung auch an Stellen stattfinden kann, an denen überhaupt keine Stomata stehen, wie dies Rosanoff (75) an einigen Farnkräutern, Moll (177) an Blättern verschiedener Pflanzen beobachtet haben, so wurde von dem zweitgenannten Autor für alle Austritts-

stellen von liquidem Wasser aus unverletzten Blättern (Aerostomata, Hydrostomata, Mikrostomata, Neurostomata, Heterostomata aliorum) der allgemeine Ausdruck „Emissarien“ vorgeschlagen. — Gardiner (207) gebrauchte die Bezeichnung „water glands“ i. e. Wasserdrüsen. Diesen letzten Terminus hätte G. Haberlandt mit Rücksicht auf seine Theorie der aktiven Beteiligung lebender Zellen bei der Guttation sympathisch aufgenommen; auf die Gesamtheit der wasserausscheidenden Apparate ist aber die Bezeichnung Wasserdrüsen nach Haberlandt deshalb nicht anwendbar, weil bei gewissen Pflanzen die liquide Wasserausscheidung ein bloßer Filtrationsvorgang ist, und weil es viele diesbezügliche Einrichtungen gibt, die nicht allein der Ausscheidung, sondern auch der Absorption von Wasser dienen. Haberlandt (299) hat deshalb als Pendant zu dem von Jost (Bot. Zeitg. 1867 p. 604) gewählten Namen „Pneumathoden“ den Ausdruck Hydathoden vorgeschlagen und unterscheidet: I. Hydathoden ohne direkten Anschluß an das Wasserleitungssystem 1. einzellige H. (umgewandelte Epidermiszellen), 2. mehrzellige H. (Trichomhydathoden). II. Hydathoden mit direktem Anschluß an das Wasserleitungssystem. 3. H. ohne Wasserspalten, 4. H. mit Wasserspalten; 4a) mit Epithem, 4b) ohne Epithem.

In physiologischer Hinsicht lassen sich nach Haberlandt zwei Kategorien von Hydathoden unterscheiden: Bei der Gruppe 4b und zum Teil auch 4a beruht die Sekretion auf Druckfiltration; die Hydathoden sind die Stellen geringsten Filtrationswiderstandes. Bei den anderen Gruppen soll nach Haberlandt die Wasseremission auf aktiver Beteiligung des Epithems beruhen. In der ersten Kategorie ist die Guttation eine Funktion des Wurzel- resp. Blutungsdruckes, bei den Pflanzen der zweiten Kategorie wird die zur Wasserausscheidung notwendige Betriebskraft von den drüsig gebauten Hydathodenzellen geliefert. Letztere entwickeln in der Vorstellung Haberlandt's selbst die Pumpkraft, welche Wasser nach außen preßt, während der im Wasserleitungssystem herrschende Blutungsdruck auf die Hydathoden bloß als „Reiz“ einwirkt, der sie veranlaßt, einseitig Wasser auszupressen.

Um zu beweisen, daß die Wassersekretion eine Funktion der Hydathoden sei, daß letztere als „aktive, den Schweißdrüsen der Tiere vergleichbare Wasserdrüsen“ fungieren, ging Haberlandt (289, 290, 299) in folgender Weise vor: Abgetrennte Sprosse oder Blätter wurden an dem kurzen Schenkel eines U-förmigen Glasrohres luftdicht befestigt; dann wurde durch Einpressen von Wasser mittels Quecksilberdruck ( $h = 15-40$  cm) in sehr feuchtem Raume Guttation

veranlaßt. War dieselbe konstatiert, so wurden an einer Blattseite oder Blatthälfte nach vorheriger Abtrocknung derselben durch einmaliges, rasches Bepinseln mit 0,1 proz. alkoholischer Sublimatlösung die Hydathoden vergiftet resp. getötet. Es trat dann an diesen Stellen keine Wasserausscheidung mehr auf, während gleichzeitig in der Regel eine mehr oder weniger starke Injektion der Intercellularen erfolgte (*Anamirta Cocculus*, *Phaseolus multiflorus*, *Polypodium aureum*, *Ficus* sp.). In diesem Ergebnisse findet Haberlandt einen „schlagenden Beweis“ dafür, daß die Sekretion an die aktive Tätigkeit drüsig gebauter Organe gekettet ist. Daß die Hydathoden auch der Wasserabsorption dienen, wurde von dem genannten Autor auf zweierlei Weise gezeigt: 1. infolge Gewichtsvermehrung (also Wasseraufnahme) vorher welker Blätter nach mehrstündiger Immersion (mit Ausschluß der Schnittfläche) und 2. durch Lebendfärbung der Drüsenhaare mit 0,005 proz. Methylenblaulösung. Beispielsweise zeigte bei einem Primärblatt von *Phaseolus*, welches 24 Stunden lang in einer solchen Lösung eingetaucht war, der Zellsaft in den Drüsenhaaren blaue Färbung, während die gewöhnlichen Epidermis- und Schließzellen ganz ungefärbt blieben. Es sei also nicht zu zweifeln, daß diese Hydathoden das Vermögen haben, das durch Regen oder Tau dargebotene Wasser aufzusaugen und den Blättern zuzuführen. Durch diese Fähigkeit der Hydathoden, liquides Wasser aufzunehmen und abzugeben „erweisen sich die beschriebenen Apparate der Laubblätter als wichtige Regulatoren des Wassergehaltes der Pflanze“. Im feucht-warmen Tropengebiete — fügt Haberlandt bei, — wo der Wurzel- überhaupt der Blutungsdruck zweifelsohne hohe Werte erreichen kann, und wo ferner die Transpiration eine viel ungleichmäßigere ist, als bei uns, sind derartige Regulatoren sehr am Platze und gewiß auch sehr verbreitet.

Einigermaßen erschüttert wurde die Epithemtheorie Haberlandt's (299) durch dessen Versuchsergebnisse mit *Fuchsia*. Bei dieser Pflanze befindet sich an jedem Blatzzahn eine Wasserspalte mit beweglichen Schließzellen, unter derselben ein Epithem mit englumigen Intercellularen. In allen Fällen erfolgte hier sowohl bei eingewurzelten Topfpflanzen (Wurzeldruck) als bei abgeschnittenen Zweigen (Quecksilberdruck) nach Bepinslung der Blätter mit alkoholischer Sublimat- oder Jodlösung, nach Chloroformierung der Epitheme, im Zustande der Kälte- und der Wärmestarre Sekretion von Wassertropfen. Haberlandt sieht sich deshalb zu der Konzession genötigt, daß die Wasserausscheidung bei *Fuchsia* (trotz des wohl-

konditionierten Epithems) auf Druckfiltration beruht. Es ist bezeichnend, daß alle Physiologen, die sich später mit diesem Gegenstande experimentell beschäftigt haben: Nestler, Minden, Spanjer, A. Meyr, Dixon, Edelstein gezeigt haben, daß Haberlandt's Hypothese von der Aktivität der Hydathoden unhaltbar ist, nachdem zuerst Pfeffer (Pflanzenphysiologie Bd. I S. 261) diesbezüglich verschiedene Bedenken geäußert hatte. Dieser Forscher — wohl der genaueste Kenner osmotischer Erscheinungen — hat sich auch dahin ausgesprochen, daß die Beobachtungen Haberlandt's nicht zu dem Schlusse berechtigen, daß es eines vom Blutungsdruck ausgehenden Reizes bedürfe, um die Wasserdrüsen zur Tätigkeit zu erwecken, „denn mit unzureichendem Wassergehalt hört mit mechanischer Notwendigkeit jede intracellulare Sekretionstätigkeit auf“.

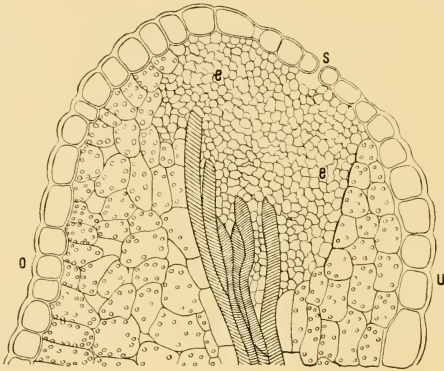


Fig. 18.

Längsschnitt durch die Blattspitze von *Ranunculus Flammula* nach Nestler  
o, u Epidermis, e Epithem, s Wasserspalte (vergr. 135).

Zu den experimentellen Untersuchungen Nestler's (309) dienten Pflanzen aus den Gattungen *Bryophyllum*, *Ranunculus*, *Aucuba*, *Hibbertia*, *Oenothera*, *Tropaeolum*, *Mimulus*, *Cyclamen*, *Aquilegia*, *Eranthis* und *Helianthus*. Die Blätter der Versuchspflanzen, die alle nebst Wasserspalten auch ein beziehungsweise stark oder schwach entwickeltes Epithem (vgl. Fig. 18) besitzen, wurden mit 0,1 proz. (auch mit 1 proz.) alkoholischer Sublimatlösung bepinselt. Unter einer mit Wasser abgesperrten Glasglocke sezernierten die vergifteten Hydathoden ebenso fleißig wie die an intakt gebliebenen Blättern,

gleichgültig, ob die Wasserimpression bei normal bewurzelten Exemplaren durch den natürlichen Wurzeldruck oder bei abgeschnittenen Zweigen durch künstlichen Quecksilberdruck erfolgte. Denselben Effekt bewirkte die Einpressung einer 5 proz. Kupfervitriol- und einer 5 proz. Tanninlösung. Bei Pflanzen ohne Blattepitheme (*Cineraria*, *Agapanthus umbellatus*, *Tradescantia viridis*, Gramineen) ergab sich dasselbe. Kurz: „Ob ein scharf differenziertes oder nur ein schwach ausgebildetes oder gar kein Epithemgewebe vorhanden war, stets erwies sich in den untersuchten Fällen der Vorgang der Tropfenausscheidung als bloße Druckfiltration ohne aktive Beteiligung irgendeines Gewebes.“ Später beobachtete Nestler (345) Wassersekretion an den Blättern von *Boehmeria*arten; die Tropfen treten hier durch Wasserspalten aus, die auf kleinen, von Epithemgewebe ausgefüllten Zellenhügeln liegen. Die liquide Ausscheidung ist auch hier eine einfache Druckfiltration.

Ohne Kenntnis dieser Resultate Nestler's führte v. Minden (343) eine Reihe experimenteller Versuche durch, die gleichfalls zeigten, daß die Vorstellung Haberlandt's, wonach dem Epithem eine aktive Rolle bei der liquiden Wasserausscheidung zukäme, unhaltbar ist. Denn Vergiftung mit alkoholischer Sublimat- mit wässriger Kupfersulfat- und Eosinlösung, ebenso Chloroformierung konnte bei sonst gesunden Topf- oder Freilandpflanzen von *Tropaeolum maius*, *Glaucium luteum*, *Papaver somniferum* die Tropenausscheidung weder hindern noch vermindern, ja die vergifteten Partien der Blätter von *Tropaeolum* (die nach Haberlandt ein Epithem mit großartigen Zellkernen haben), zeigten sogar eine reichere Ausscheidung als die unvergifteten Sekretionsstellen.

Eine gleichfalls gründliche Untersuchung über liquide Wasserausscheidung an Blättern und die vermeintliche Aktivität des Epithems bei diesem Prozesse von Spanjer (337) ergab folgende Resultate: A. Nach Einpressung von Eosinlösung, rotem Blutlaugensalz, Kupfersulfatlösung mittels Quecksilberdruck zeigten die hierzu benützten Sprosse von *Fuchsia*, *Primula*, *Sanguisorba*, *Tropaeolum*, *Phaseolus*, *Anamirta* etc. die Tropfenausscheidung ebenso schön wie nach Einpressung von reinem Wasser. B. Nach Vergiftung einzelner Blättzähne bei Topfpflanzen mit 0,1 proz. Sublimatlösung, 3 proz. Kupfersulfatlösung, 2 proz. Kokaïnlösung, 5 proz. Formalinlösung schieden *Fuchsia*, *Primula* und *Tropaeolum* im feuchten Raum an den vergifteten Stellen ebenso Wassertropfen aus, wie an den intakten Blättzähnen. Bei anderen Pflanzen, wie *Sanguisorba*, *Anamirta*, Alche-

milla, Phaseolus (letztere beiden auch im Gartenrund beobachtet) blieb nach Vergiftung der Blattzähne die Tropfenausscheidung aus. Es zeigte sich aber, daß infolge der Vergiftung die Schließzellen der Wasserspalten kollabiert und die Spalten geschlossen waren und daß deshalb das durch den Wurzeldruck eingepreßte Wasser statt nach außen, nach innen in die Mesophyll-Intercellularen abgeschieden wurde. C. Nach Vergiftung der Blattzähne (mit Sublimat, Kokain, Formalin) an Sproßstücken und nachheriger Wasserimpression stellte sich bei den Versuchspflanzen (Fuchsia, Primula, Tropaeolum) reichliche Guttation ein. Aus diesen und aus anderen Beobachtungen Spanjer's geht hervor, daß die Epitheme keine Wasserdrüsen sein können, daß ihre Zellen bei der liquiden Wassersekretion aktiv (in der Vorstellung Haberlandt's) nicht beteiligt sind, und daß die Wasserspaltenapparate der Tropenpflanzen von denen der Gewächse gemäßigter Klimate nicht verschieden sind.

Auf eine Replik von Haberlandt (334), in welcher sich dieser die Behauptung leistet, daß in der Arbeit Spanjer's nicht eine wesentlich neue Tatsache mitgeteilt wird, hat Prof. A. Meyer (336), unter dessen Leitung die Arbeit Spanjer's entstanden ist, eine Duplik veröffentlicht, in welcher er (Meyer) Haberlandt den Rat gibt, er möge die Angaben Spanjer's, falls er deren Richtigkeit bezweifelt, durch Nachuntersuchungen prüfen. Gleichzeitig werden von Meyer einige Suppositionen Haberlandt's richtig gestellt. So war z. B. Spanjer's Anamirta nicht, wie in der Vorstellung Haberlandt's, „mehr oder minder krankhaft verändert“, sondern „völlig gesund und prächtig entwickelt“; die Schleimabsonderungen der einzelligen „Hydathoden“ dieser Pflanze waren nicht, wie Haberlandt glaubt, „minimal“, sondern „ganz kräftig“; bei den Versuchen mit Phaseolus benützte Spanjer nicht, wie Haberlandt voraussetzt, nur „ältere“ Blätter, sondern auch jüngere etc. Auf diese „kritischen Besprechungen“ von Meyer folgte noch eine Erwiderung seitens Haberlandt's (334a), auf welche Meyer nur mit wenigen Worten reagierte.

Vor kurzem erschien eine Arbeit von Edelstein (367) aus dem St. Petersburger Forstinstitute. Druckversuche, welche dieser Autor nach der Moll-Haberlandt'schen Methode bei Zweigen vieler Holzgewächse (Ribes, Hydrangea, Philadelphus, Cornus etc.) ausführte, zeigten, daß in allen Fällen nach Bepinselung der Blattzähne mit 0,1 proz. Sublimatlösung die Wasserausscheidung „ebenso rasch und ebenso reichlich“ wie an unvergifteten Blättern desselben Zweiges sich einstellte, sowohl aus epithembesitzenden wie auch aus epithemfreien Hydathoden. Ätherisierungsversuche ergaben, daß ungeachtet des 5 Minuten bis 24 Stunden andauernden Verweilens der Pflanze im Ätherdampf „die Wasserausscheidung ebenso rasch und reichlich,



öfter aber sogar noch rascher und reichlicher als in den Kontrollversuchen stattfand.“

Um die Aktivität der Hydathoden zu prüfen, wurden bei mehr als 20 Zweigen verschiedener Pflanzen die Hydathoden durch Abschneiden der Blattränder entfernt; die Saugung fand aber mit derselben Energie statt und an den Blatträndern wurden aus den angeschnittenen Nerven große Tropfen ausgeschieden. Es ergab sich also wieder, daß weder von einer Pumpkraft der Hydathoden noch von einer Aktivität des Epithems die Rede sein kann.

Bei einer ganzen Reihe von Holzpflanzen beobachtete Edelstein, daß während der Einpressung des Wassers in die Schnittfläche der Zweige sich die Wassersekretion nicht nur bei allmählicher Verminderung des Druckes fortsetzte, sondern sich auch noch — und zwar vorzugsweise an den jüngeren Blättern — bemerkbar machte, wenn der Druck negativ wurde. So war z. B. bei einem Versuche mit *Cornus alba* der Quecksilberdruck anfangs 10 cm, nach 7 Stunden gleich Null und am folgenden Tage — 1,2 cm; trotzdem wurden auch bei diesem negativen Drucke an den jüngsten Blättern große Wassertropfen ausgeschieden, nach deren Entfernung in nicht langer Zeit wieder neue erschienen. Bei *Rosa canina* setzte sich die Guttation fort, trotzdem der Druck am zweiten Tage bis — 5,2 cm, am dritten Tage bis — 8 cm fiel.

Edelstein hat die Hydathoden bei etwa 70 Holzgewächsen untersucht. Hydathoden mit Epithem besitzen: *Actinidia*, *Broussonetia*, *Diervillea*, *Hydrangea*, *Iuglans*, *Morus*, *Myrica*, *Parrotia*, *Philadelphus*, *Pterocarya*, *Ribes*, *Rubus*, *Vitis*. — Hydathoden ohne Epithem: *Alnus*, *Betula*, *Carpinus*, *Castanea*, *Cornus*, *Corylus*, *Ostrya*, *Platanus*, *Populus*, *Salix*, *Sambucus*, *Staphylea*, *Tilia*, *Ulmus*, *Viburnum*, *Zelkova*. — Mittelformen sind bei *Prunus*, *Rosa*, *Spiraea* zu finden.

Verwendet man, wie dies allgemein üblich ist, zu den Druckversuchen ein U-förmig gebogenes Glasrohr mit einem kurzen und einem langen Schenkel, so muß sich in dem Maße, als Wasser aus dem kurzen Schenkel in die Versuchspflanze eintritt, der Niveauunterschied des Quecksilbers und damit der hydrostatische Druck vermindern. Allerdings kann durch Eingießen von Quecksilber in den langen Schenkel der Druck wieder vergrößert werden, allein diesen konstant zu erhalten, wird sehr schwer sein. Auch die Messung der Flüssigkeitsmenge, die von der Schnittfläche des Zweiges aufgenommen wird, kann keinen Anspruch auf Genauigkeit machen. Moll hat nun einen (etwas komplizierten) von ihm „Hydrosimeter“ genannten Apparat konstruiert, der es nach der Angabe des Autors ermöglicht, Flüssigkeiten unter konstantem Druck in die Pflanze zu pressen und der zugleich gestattet, in jedem Augenblicke das

Volum des eingepreßten Wassers genau zu messen. (Beschreibung und Abbildung in „Flora“ 90. Bd. 1902 p. 334.)

Es kann aber auch zur Guttation kommen, wenn abgeschchnittene Sprosse oder Blätter mit dem Stiel einfach in Wasser gestellt und in sehr feuchtem Raum belassen werden. Eine solche Tropfenausscheidung beim Fehlen eines natürlichen oder künstlichen Druckes beobachteten Nestler (345) und Spanjer (337) bei *Phaseolus*, Nestler (346) außerdem bei *Tropaeolum* und bei verschiedenen Malvaceen, Minden (343) bei Arten von *Nicotiana*, *Statice* und bei *Glaux maritima*, Edelstein (367) bei *Cornus alba*. Bezüglich *Phaseolus multiflorus* fand Nestler, daß das Sekretwasser etwa 0,5 Proz. fester Bestandteile, unter diesen vornehmlich doppeltkohlensaures Kali enthält, welches beim Eintrocknen an der Luft zu einfach kohlensaurem Kali reduziert wird. Diese Substanz nimmt aber, in feuchter Atmosphäre liegend, begierig Wasser auf, wodurch auf den Blättern ohne eine *vis a tergo* sekundäre Tropfenbildung entstehen kann. Bei den von Nestler genannten Malvaceen: *Althaea rosea* und *A. cannabina*, *Malva silvestris*, *Abutilon Thompsoni*, *Lavatera unguiculata* tritt bei abgeschnittenen Sprossen oder Blättern in feuchtem Raume das abgeschiedene Wasser nach einigen Stunden zunächst an der Unterseite des Blattes und zwar anfangs in sehr kleinen Tröpfchen auf, die über die ganze Spreitenfläche gleichmäßig verteilt sind; nach 12 bis 15 Stunden kann die Sekretion so ausgiebig sein, daß das Wasser von den Blättern abtropft. Zur Erklärung dieser Erscheinung führt Nestler an, daß in der Epidermis beider Blattseiten der genannten Malvaceen eigentümlich gebaute Schleimzellen auftreten (Näheres darüber Nr. 346). „Es scheint die Möglichkeit vorhanden zu sein, daß durch Quellung der Schleimschichten ein Druck auf den übrigen Zellinhalt nach außen hin stattfindet und eine liquide Sekretion bewirkt werden kann.“ Was schließlich die (Drüsenhaaren entstammende) Sekretionsflüssigkeit bei *Nicotina* und *Glaux* betrifft, so ergab die mikrochemische Untersuchung derselben durch Minden ein reichliches Vorhandensein von Chloriden des Magnesiums und Kalziums. Es ist kaum zu zweifeln, daß auch hier die ausgeschiedenen hygroskopischen Substanzen eine sekundäre Tropfenbildung veranlassen. Jedenfalls ist es klar, daß für diese Fälle, in denen Tropfenausscheidung an den Blättern ohne Wurzel-, Blutungs- oder künstlichen Druck erfolgt, die Vorstellung Haberlandt's, daß der im Wasserleitungssystem herrschende Blutungsdruck auf die Hydathoden als „Reiz“ einwirkt, der sie veranlaßt, Wasser auszupressen, nicht zutrifft.

Dixon (331) sprach sich auf Grund seiner Versuche, in denen er wässerige Eosinlösung durch die Schnittfläche beblätterter Zweige aufsteigen ließ, dahin aus, daß die Saugwirkung nicht den etwa vorhandenen Hydathoden, sondern den Zellen, welche die Enden der Leitungsbahnen der Blätter begleiten, zuzuschreiben sei, da auch bei *Cheiranthus*, wo Hydathoden fehlen, und bei verschiedenen *Chrysanthemum*-arten, denen die randständigen Hydathoden abgeschnitten wurden, ein Aufstieg der Lösung bis in die letzten Nervenendigungen stattfand. Daß die Hydathoden bei der Wasserbewegung keine große Rolle spielen, ergaben auch Versuche von Edelstein, in denen abgetrennte Zweige von Holzpflanzen, die durch Abschneiden der Blattränder ihrer Hydathoden beraubt waren, ohne jeglichen Quecksilberdruck tagelang fähig waren, einerseits Wasser einzusaugen, andererseits solches auszuschcheiden.

Die Hydathoden haben nach der Theorie von Haberlandt eine Reihe von Funktionen auszuüben. Sie ermöglichen durch Ausscheidung des in die Blätter eingepreßten Wassers eine Wasserströmung, durch welche mineralische Nährstoffe mitgerissen werden; sie sind (indirekt) an dem Zustandekommen einer Wasserströmung bei aufgehobener Transpiration beteiligt, „ein nicht zu unterschätzender Faktor für die Ernährung“; sie können ferner das durch die Niederschläge dargebotene Wasser aufsaugen und der Pflanze zuführen; sie sollen überdies bei beträchtlicher Steigerung des Wurzel- überhaupt des Blutungsdruckes die drohende Injektion der Durchlüftungsräume mit Wasser verhüten, „die wegen Behinderung des Assimilationswechsels (?) die Ernährungstätigkeit der Blätter herabsetzen würde“. — „Denn wenn an jedem Morgen (mit Rücksicht besonders auf das feuchte Tropengebiet, Haberlandt (299) erst das in den Intercellularen des Chlorophyllparenchyms enthaltene Wasser verdampfen müßte, bevor der Assimilationswechsel ungehindert von statten gehen könnte, so würde täglich ein ansehnlicher Bruchteil der hellen Tagesstunden für die Assimilation so gut wie verloren gehen.“ — Hypothesen! denn Haberlandt hat weder genauere Beobachtungen über die Häufigkeit, Intensität und Dauer der Injektion bei von Physiologen unberührten Pflanzen an den natürlichen Standorten gesammelt; er hat keine Versuche über die Beziehungen zwischen der Stärke der Blatinjektion und Kohlensäureassimilation gemacht; er hat auch nicht direkte Beweise für die drohende Gefahr der Infiltration des Blattes bei einem eventuellen Ausbleiben der Hydathodensekretion beigebracht. Es hat sich deshalb Lepeschkin auf Anregung Pfeffer's der dankenswerten Aufgabe unterzogen, zu untersuchen,

wie sich sekretionsfähige Pflanzen bei Verhinderung der Wasserausscheidung durch die Hydathoden bezüglich der Injektion der Mesophyllintercellularen verhalten.

Zu diesem Zwecke wurden von Lipeschkin bei kräftigen Topfpflanzen von *Impatiens*, *Alchemilla*, *Colocasia*, *Fuchsia*, *Potentilla*, *Saxifraga*, *Tropaeolum*, die alle unter einer mit nassem Filtrierpapier ausgekleideten Glasglocke prompt Wassertropfen sezernierten, die Blattränder (und mit diesen die Hydathoden) abgeschnitten; im feuchten Raum trat dann sofort Wasser aus den abgeschnittenen Rippen aus. Die so behandelten Pflanzen wurden weiter kultiviert, bis sich (nach 8—10 Tagen) an den Wunden Periderm gebildet hatte und die Öffnungen der Gefäßbündel sich mit einer gummiartigen Masse verstopften, was durch das Aufhören der Guttation im feuchten Raume kontrolliert wurde. Nach Entfernung der mittlerweile neu gebildeten Blätter und Blüten und Verschluss der Wunden kamen die Pflanzen samt Kontrollexemplaren in feuchten Raum. Hierbei ergab sich: a) daß durch Verhinderung der Wasserausscheidung bei gleichzeitig gehemmter Transpiration Infiltration der Blattintercellularen zustande kommen kann; b) daß die Injektion niemals in den jungen Blättern stattfand, worauf bereits Moll (177) hingewiesen hat, „weshalb die Meinung Haberlandt's, daß die Hydathoden die Injektion hauptsächlich der jüngeren Blätter verhindern, unbegründet ist“; c) daß die Infiltration immer schon während des ersten halben Tages stattfand, an den folgenden Tagen nicht mehr zunahm, und nach Übertragung der injizierten Pflanzen in trockene Zimmerluft in kurzer Zeit verschwand, wobei die Pflanzen ein ganz gesundes Aussehen behielten. Bei einer zweiten Versuchsreihe wurden von Lipeschkin beblätterte Teile von Topfpflanzen mittels Wasserpumpe injiziert. Es zeigte sich, daß eine Injektionsdauer von 1—2 Wochen (!) den Blättern keinen merklichen Schaden zufügte. (Einige ältere Blätter waren infolge des längeren Aufenthaltes in dem sehr feuchten Raum abgefallen); nach Versetzung der Versuchspflanzen in mäßig feuchte Luft verdunstete das überschüssige Wasser vollständig; die Blätter blieben gesund. — Was die Behinderung der Assimilation und Respiration durch die Injektion der Blatzellularen betrifft, so zeigte Böhm (Sitzber. d. k. Akad. der Wiss. Wien 66. Bd. I. 1872, S. 169) bezüglich der erstgenannten, Lipeschkin (368) bezüglich der zweitgenannten Funktion, daß die Infiltration, wenn eine solche in der Natur stattfände, für die Pflanze ziemlich harmlos wäre.

Wenn man bedenkt, daß so große Druckkräfte, wie sie von verschiedenen Autoren bei den experimentellen Hydathodenuntersuchungen

in Anwendung gebracht wurden, in den jungen Zweigen und in den Blattstielen insbesondere im Sommer, zur Zeit des größten Wasserverbrauches, nicht vorkommen, wenn man weiter erwägt, daß es in der Natur zu einer mehrtägigen, ununterbrochenen Injektionsdauer der Blätter kaum kommt, und wenn dies der Fall wäre, dann die Injektion keinen nennenswerten Schaden der Pflanze bringen würde, wenn man sich endlich vor Augen hält, daß die Gewächse im Naturzustande nicht solchen abnormen Verhältnissen wie in Laboratorien zum Zwecke des Experimentes ausgesetzt sind, so ergibt sich, daß die Hydathoden eine den Betriebswechsel der Pflanze schädigende Injektion der Blattintercellularen weder verhindern können, noch zu verhindern brauchen und daß von dem Verluste eines ansehnlichen Bruchteiles des Tages für die Assimilation infolge der Injektion der Blätter keine Rede sein kann.

Die unterirdischen Schuppenblätter von *Lathraea Squamaria* scheiden nach den Beobachtungen von Darwin (Bewegungsvermögen, S. 71) im Frühjahr, zur Zeit, wenn der Blütenstengel den Boden durchbricht, eine ganz bedeutende Menge Wasser ab, durch welches trockener Boden erweicht und dadurch der Durchtritt der Pflanze erleichtert wird. Die Höhlen in den *Lathraeaschuppen*, sowie die in diesen befindlichen zahlreichen Drüsen (zweierlei Art) haben bekanntlich die verschiedensten biologischen Deutungen erfahren (vgl. hierüber besonders A. Scherffel in Mitteil. a. d. Botan. Instit. zu Graz 2. Heft 1888), so als Respirationsorgane, als kalkabsondernde Teile, als Aufschließer von Humusbestandteilen, als Tierfallen (resp. insektivore Organe) endlich als Stellen der Wassersekretion. Die Hauptfunktion der Drüsen wird wohl die der liquiden Wasserausscheidung sein. Diese Ansicht hat Darwin ausgesprochen und später auch G. Haberlandt, dem es gelang, durch Anwendung von Quecksilberdruck reichliche Wasserausscheidung zu sehen. Aus Druckversuchen mit Methylenblau hält es dieser Autor für wahrscheinlich, daß bloß die „Köpfchendrüsen“ Wasser ausscheiden, wogegen Goebel (320) aus anatomischen Gründen die „Schilddrüsen“ als Sekretionsorgane für Wasser anspricht. Dies dürfte wohl das richtige sein, da nach den Untersuchungen von Groom (Ann. of Botany, tom. XI, 1897, S. 385) auch *Pedicularis*, *Rhinanthus* und *Odontites* im wesentlichen denselben Drüsenbau haben. Wie bei *Lathraea*, haben die Schilddrüsen der genannten Hemiparasiten einen scheidelständigen Porus, der den Wasseraustritt gestattet, weshalb auch Groom die Schilddrüsen als Hydathoden anspricht. Wie dem auch sei, soviel

kann wohl heute als sicher angenommen werden, daß man es hier nicht mit einer aktiven Hydathodenarbeit zu tun hat, sondern daß die Wasserausscheidung infolge des in der Wurzel der Wirtspflanze herrschenden Blutungsdruckes erfolgt, mit der *Lathraea* organisch verbunden ist. Schon Darwin hat sich dahin ausgesprochen, daß die *Lathraea*-wurzeln im Frühjahr aus der Wirtspflanze, auf der sie parasitisch leben, in großer Menge Saft absorbieren.

Als „Wasserkelche“ oder „Wasserknospen“ definiert Koorders „solche Blütenknospen, welche kürzere oder längere Zeit flüssiges, entweder vom Kelch oder von der Korolle ausgeschiedenes Wasser enthalten“. Solche wasserausscheidende Knospen wurden zuerst (im Jahre 1888) von Treub bei der Bignoniacee: *Spathodea campanulata* entdeckt und beschrieben, später von Lagerheim bei *Jochroma macrocalyx*, von Gr. Kraus bei *Parmentiera cerifera*, von Shibata bei *Tecoma grandiflora*, *Catalpa Kaempferi*, *Clerodendron trichomatum* und *squamatum*, *Nicandra physaloides* und von Koorders (322), dem wir eine umfangreiche Abhandlung aus dem botanischen Institute der Universität Bonn über Blütenhydathoden verdanken, bei verschiedenen tropischen Bignoniaceen, Solanaceen, Verbenaceen, Scrophulariaceen und Zingiberaceen gefunden. Die Wasserausscheidung beginnt in der Regel in einem sehr frühen Entwicklungsstadium der Blütenknospe und erreicht ihren Höhepunkt kurz bevor Androeceum und Gynaeceum fertig gebildet sind. Bei *Clerodendron Minahassa* und *Juanulloa parasitica* reift noch die Frucht in einem Wasserbade. Als Sekretionsstellen wurden von Koorders Trichomhydathoden bei den untersuchten Pflanzen eingehend beschrieben. Um zu ermitteln, ob die Wassersekretion eine aktive Funktion der Trichomhydathoden sei, wurden von Koorders bei *Heterophragma adenophyllum* und bei *Kigelia pinnata* Druckversuche ausgeführt. Trotz Steigerung der Quecksilberhöhe bis auf 70 cm gelang es nicht, eine verdünnte Methylviolettlösung in der Kelchröhre der lebenden Knospe zur Ausscheidung zu erhalten. Durch Lebendfärbungen mit Methylviolettlösung gelang es, den Inhalt der Trichomhydathoden zu färben, während die Epidermiszellen vollständig ungefärbt blieben. Diese Ergebnisse würden auf Aktivität der Trichomhydathoden bei der Wasserausscheidung deuten. Offenbar haben wir es aber hier mit einer anderen Form der Sekretion zu tun, als bei den Laubblättern; denn die Zusammensetzung des Kelchwassers zeigt hinsichtlich des Prozentgehaltes und der Qualität an festen Stoffen eine viel größere Übereinstimmung mit der in den Bechern von *Nepenthes*, *Sarracenia* und *Cephalotus* ausgeschiedenen Flüssigkeit als mit dem von den

Hydathoden gewöhnlicher Laubblätter ausgegebenen Wassers. Bemerkenswert ist auch das zuerst von Treub konstatierte Vorkommen von Bakterien oder von Fadenpilzen in der bezw. alkalisch oder sauer reagierenden Flüssigkeit der Wasserkelche; merkwürdig — und auf Symbiose deutend — ist die Beobachtung von Koorders, daß man stets nur je eine Fadenpilzart bei je einer Wasserkelchspezies findet. Die Köpfchenhaare von *Tecoma grandiflora* bilden, da nach Shibata die sezernierte Flüssigkeit Zucker enthält, einen Übergang von Hydathoden zu Nektarien. Bezüglich der biologischen Bedeutung der Sekretion schließt sich Koorders der Ansicht von Treub und von Lagerheim an, die in dem konstanten Vorkommen von Wasser im Innern der geschlossenen Blütenknospen eine Schutzeinrichtung gegen Austrocknung (infolge Insolation) sehen.

An der Spitze der submersen Blätter vieler Wasserpflanzen sind Öffnungen vorhanden, die Borodin (Bot. Zeitung 1890) bei *Callitriche*-Arten und bei *Hippuris*, Askenasy (ibidem) bei *Ranunculus aquatilis* und *divaricata* sowie Hottonia *palustris*, Volkens bei *Alisma Plantago*, Gardiner bei *Sagittaria*, Sauvageau (Journal de Botanique 1890) bei diversen Monokotylen, Weinrowski (338) und Minden (343) bei verschiedenen Dikotylen nachgewiesen haben. Die in demselben Jahre erschienenen Arbeiten der beiden letztgenannten Autoren verbreiten sich eingehend darüber, sowohl in anatomisch entwicklungsgeschichtlicher wie in physiologischer Beziehung. Nach den Untersuchungen von Weinrowski entstehen diese „Apikalöffnungen“ entweder durch Ausfall einer zirkumskripten Zahl von Epidermiszellen (*Potamogeton*-Arten, *Sagittaria*, *Alisma*, *Sparganium*, *Stratiotes*, *Hippuris*, *Ceratophyllum*, *Myriophyllum*) oder durch Ausfallen der beiden Schließzellen von Wasserspalten. (*Callitriche verna*, *Batrachium divaricatum*, *Ranunculus aquatilis*, *Veronica anagallis*). Die Scheitelöffnungen treten an den Blättern schon sehr frühzeitig auf und persistieren während der Lebensdauer des Blattes. In der Regel endigen die Gefäßbündel direkt in die Öffnung; selten befindet sich zwischen den Gefäßenden und der Apikalöffnung ein kleinzelliges Gewebe (Epithem?).

Auf Grund experimenteller Beobachtungen hat Sauvageau die Ansicht ausgesprochen, daß die „ouvertures apicales“ Austrittsstellen des Wassers sind, Organe, durch die ein Flüssigkeitsaustausch (*échange liquide*) zwischen dem leitenden System der Pflanze und der sie umgebenden Flüssigkeit stattfindet. Die Richtigkeit dieser Ansicht wurde sowohl von Weinrowski (der die Versuche von Sauvageau für nicht beweisend hält) als auch von Minden experimentell be-

stätigt, indem es sich zeigte, daß tatsächlich Wasser in Tropfenform aus den Apikalöffnungen austritt. Man braucht nämlich (nach *Minden*) nur die unverletzten Blattspitzen solcher Pflanzen ein wenig über die Wasseroberfläche hervortreten zu lassen und dafür zu sorgen, daß sich die Blattenden (um nicht zu vertrocknen) in einem sehr feuchten Raume befinden, so erscheint nach einiger Zeit an der Apikalöffnung ein Flüssigkeitstropfen, der sich allmählich vergrößert und schließlich abfällt. Daß in Wasserpflanzen ein Blutungsdruck herrscht, hat *Wieler* (279) gezeigt; denn *Elodea*, *Ceratophyllum*, *Hippuris*, *Myriophyllum* u. a. scheiden aus der Schnittfläche ihrer Stengel Tropfen aus, wenn diese, vor Vertrocknung geschützt, aus dem Wasser hervorragt. Wir müssen also annehmen, daß, wie in Landpflanzen, auch in submersen Wasserpflanzen ein Transpirationsstrom existiert, dessen Abflußstellen die Apikalöffnungen der Blätter sind. Hierbei können Wasserspalten die Apikalöffnungen in dieser Funktion unterstützen (nach *Minden* z. B. bei *Heteranthera* und *Eichhornia*) oder bei fehlendem Porus sie ersetzen (nach *Weinowski* z. B. bei *Aldrowandia*, *Elodea*, *Utricularia*).

Somit findet auch bei submersen Gewächsen Guttation statt. Nach dem Orte des Wasseraustrittes unterscheidet *Minden* A) Wasserpflanzen, bei denen die Sekretion nur durch die Apikalöffnung erfolgt (*Alisma ranunculoides*, *Aponogeton distachys*, *Dasmonium Alisma*, *Hydrocleis nymphaeoides*, *Scheuchzeria palustris*). B) Wasserpflanzen, bei denen die Sekretion sowohl durch die Apikalöffnung als auch durch Wasserspalten erfolgt; a) beide Austrittswege sind fast zu gleicher Zeit vorhanden (*Heteranthera reniformis* und *zosteriformis*, *Eichhornia crassipes*); b) anfangs sind Stomata vorhanden, nach deren Zerstörung die Apikalöffnung entsteht (*Callitriche*, *Hottonia*, *Litorella lacustris*); C) Wasserpflanzen, bei denen Spaltöffnungen (resp. Wasserspalten) gebildet werden, eine typische Apikalöffnung jedoch fehlt (*Ranunculus sceleratus*, *Pistia stratiotes* u. a.) — Es sei noch bemerkt, daß *Unger* (64) an den Blättern von *Potamogeton crispus* und *Ranunculus fluitans* Wasseraustritt (unter Wasser) konstatiert zu haben glaubt, und daß *Strasburger* bei *Ceratophyllum demersum* zu einem negativen Resultate kam.

*Reinke* (Ber. Deutsch. Bot. Ges. 1902) bezeichnet die submersen Wasserpflanzen, die in der Luft alsbald welken und vertrocknen, auch wenn sie mit den unteren Teilen, beziehungsweise den Wurzeln in Wasser getaucht sind, als „nicht transpirationsfähige Gewächse“. Ich möchte das Gegenteil sagen, nämlich daß diese



Pflanzen sehr stark transpirationsfähig sind. Daß sie in trockener Luft rasch welk werden, auch dann, wenn sie mit dem unteren Kaulomende oder mit den Wurzeln in Wasser stehen, erklärt sich eben aus der starken Transpirationsfähigkeit in Verbindung mit der sehr reduzierten Leitungsfähigkeit für Wasser. Daß auch bei diesen Pflanzen unter natürlichen Verhältnissen, also im submersen Zustande, Blutungsdruck herrscht, daß auch sie von einem Wasserstrom durchflossen werden, also Wasser (und mit diesem gelöste Mineralstoffe) aufnehmen und solches durch Apikalöffnungen ausscheiden, ist hinsichtlich der Phanerogamen durch die oben genannten Untersuchungen nachgewiesen. Die submersen Phanerogamen, wie *Zostera*, *Vallisneria*, *Ceratophyllum*, *Elodea* etc. sind nicht nur transpirationsfähig, sondern auch tatsächlich transpirierend; hierbei scheiden sie Wasser nicht in gasförmigem, sondern in flüssigem Zustande aus. Bezüglich der submersen Kryptogamen, wie Fucoideen, Florideen, Characeen u. a. liegen bisher keine Beobachtungen vor; es ist jedoch zweifellos, daß auch in diesen Pflanzen Flüssigkeitsströme zirkulieren, die ernährungsphysiologisch notwendig sind und daß auch sie einer „transpiration liquide“ unterworfen sind.

---

## XXVII. Schutzeinrichtungen.

---

Infolge des Einflusses, den der histologische Bau der Pflanze in Verbindung mit der Wirkung äußerer Agentien auf die Aufnahme, Leitung und Abgabe des Wassers auszuüben vermag, sind die Pflanzen an ihren natürlichen Standorten der Möglichkeit ausgesetzt, zeitweise ein solches Defizit zwischen Einnahme und Ausgabe von Wasser zu erleiden, daß die Erhaltung ihres Lebens gefährdet erscheint. Die Gefahr, wegen Wassermangels zu verdursten, wird gesteigert, wenn sich mit sehr wirksamen Bedingungen für die Transpiration sehr ungünstige Momente für die Wasseraufnahme durch die Wurzeln resp. für die Wassereinfuhr in die transpirierenden Teile vereinigen, wie dies namentlich bei Wüsten- und Steppenpflanzen der Fall ist, die während der regenlosen Zeit des Jahres einer weitgehenden Luft- und Bodentrockenheit ausgesetzt sind. Bekanntlich haben sich aber bei Pflanzen verschiedener Florengebiete und Standorte Schutz-

einrichtungen (Anpassungserscheinungen) mannigfacher Art gegen einen zu starken oder zu raschen Wasserverlust durch Transpiration entwickelt. Dieselben sind teils morphologischer, teils physiologisch-biologischer Natur und lassen sich in zwei Gruppen teilen, derart, daß die der einen Gruppe die stomatäre und die epidermale Verdunstung herabsetzen, während die der anderen Kategorie im Dienste der Wasserversorgung der Pflanze stehen. Manche dieser Einrichtungen leisten außerdem der Pflanze noch andere Dienste: durch starke Verdickung und Kutikularisierung der äußeren Epidermiszellwände wird nicht nur die epidermoidale Verdunstung eingeschränkt, sondern es werden auch mechanische Zwecke erreicht; eine steile Blattlage ist nicht nur ein Schutzmittel der Pflanze gegen zu starken Wasserverlust bei hohem Sonnenstande, sondern auch — dies gilt insbesondere für jugendliche Blätter — ein solches gegen Chlorophyllzerstörung an sonnenhellen Tagen und gegen großen Wärmeverlust in wolkenlosen Nächten. Die Koexistenz mehrerer solcher Organisationseigentümlichkeiten ermöglicht es vielen Pflanzen, Perioden größter Trockenheit oft durch lange Zeit unbeschadet ihres Lebens zu ertragen. Es sei noch daran erinnert, daß auch in regenreichen Tropengebieten Trockenperioden vorkommen, woraus sich die Einrichtungen zum Transpirationsschutz bei den Pflanzen jener Länderstrecken erklären. Die Beobachtungen über Transpirationsschutzmittel wurden fast ausschließlich in den zwei letzten Dezennien gemacht; ihre Kenntnis verdanken wir besonders Tschirch, Johow, Volkens, Fleischer, Stahl, Schimper.

#### A. Einrichtungen, durch welche die Verdunstungsgröße herabgesetzt wird.

##### 1. Blattlage.

Je steiler die Blätter stehen, unter einem desto kleineren Winkel treffen sie die Lichtstrahlen bei hohem Sonnenstande. Johow (201) zählt eine Reihe von Bäumen des tropischen Amerika auf, die steil nach aufwärts oder nach abwärts gestellte Blätter haben. „Als besonders auffällige Beispiele seien die Sapotaceen (*Lucuma mammosa*, *Sapota Achras*, *Chrysophyllum Cainito*) genannt, deren steil nach oben strebendes Gezweig mit dichten Büscheln fast vertikal stehender Blätter besetzt ist, ferner *Coccoloba uvifera*, deren breite, lederharte Blätter in steiler, unbeweglicher Lage an den aufwärts gekrümmten Spitzen horizontaler Zweige stehen.“ Weiters wären die Mangrovebäume

(*Rhizophora Mangle*, *Avicennia nitida*, *Conocarpus erecta*), der „Baum des Reisenden“, die herrliche *Ravenala madagascariensis* u. a. anzuführen. An vielen australischen Myrtaceen und Proteaceen, namentlich an Arten der Gattungen *Eucalyptus*, *Leucadendron*, *Melaleuca*, *Protea*, *Banksia* sind die Blattspreiten so gewendet, daß sie auf die Kante, also vertikal gestellt sind; sie bedingen im Verein mit Kasuarinen und Akazien die „schattenlosen“ Wälder dieses Erdteiles. Bezüglich *Eucalyptus globulus* berichtet Magnus (Sitzb. des Bot. Vereins Brandenburg 1875), daß die jüngeren Blätter sitzend, flach ausgebreitet und mit einem Wachsüberzuge versehen sind, während die älteren Blätter mehr oder weniger langstielig sind, des Wachsüberzuges entbehren und sich steil stellen. Bei dieser Pflanze treten also bei Blättern verschiedenen Alters Wachsüberzug und steile Lage vikariierend als Schutzmittel auf.

Eine in tropischen Gegenden ziemlich verbreitete Erscheinung ist das Vorkommen von Pflanzen mit schlaff nach abwärts hängenden Laubblättern (Beispiele bei Johow). Diese Lage ist entweder eine permanente oder eine temporäre, in letzterem Falle nur auf die jungen Blätter beschränkt. Zur Prüfung der Frage, ob diese Lage eine Schutzeinrichtung gegen übermäßige Transpiration darstelle, hat Stahl (285) Versuche mit Blättern von *Amherstia nobilis* und *Brownea coccinea* ausgeführt und gefunden, daß die ausgewachsenen Foliolen, die ihre bleibende Stellung bereits eingenommen hatten, bei Insolation rascher vertrockneten als die noch jugendlichen zarten Hängeblätter, „welche also offenbar eines besonderen Schutzes gegen die transpirationssteigernde Wirkung der Sonnenstrahlen nicht bedürfen.“ Stahl betrachtet den Nutzen der Hängelage als eine Anpassung an die starken Regengüsse der Tropen. „Solange die Blätter noch zart sind, können sie bei ihrer Hängelage von den fast immer vertikal niedergehenden Regentropfen nur unter sehr spitzen Winkeln getroffen werden. Die Aufrichtung erfolgt erst dann, wenn das ausgewachsene, fester gewordene Blatt besser imstande ist, der Wucht des Regens zu trotzen.“ Diese Ansicht von Stahl ist aber gewiß nicht zutreffend. Denn nach den überraschenden, experimentellen Untersuchungen von Wiesner (326) ist die mechanische Kraft auch des stärksten natürlichen Regens eine außerordentlich geringe. Gerade zarte Blätter, die frei beweglich sind, können einerseits infolge der (ziffermäßig festgestellten) äußerst geringen lebendigen Kraft der sie treffenden Regentropfen, andererseits infolge der enorm entwickelten Biegeelastizität viel heftigere Stöße, als sie der schwerste Regen auszuüben vermag,

ohne Schaden vertragen. Im Gegensatz zu Stahl kam Keeble (352), der in Paradeniya die Bedeutung der Hängeblätter insbesondere bei den Caesalpiniaceen studiert hat, zu dem Schlusse, daß die hängende Lage die noch in Entwicklung begriffenen Blätter dieser Bäume vor Zerstörung des Chlorophylls durch das direkte Sonnenlicht sowie gegen zu starke Transpiration schütze. Dies scheint mir auch richtig zu sein, wie denn auch in anderen Fällen die Profilstellung besonders junger Blätter für sie einen Chlorophyll- und Transpirationsschutz bei starker Insolation bildet.

Über den Einfluß des Standortes auf die Blattlage hat Stahl (246) viele Beobachtungen gesammelt, von denen wir hier nur zwei Beispiele anführen wollen. Wächst *Juniperus virginiana* in sonniger Lage, so sind die Zweige mit kurzen, anliegenden Blättern versehen; in schattigen Lagen oder an Zweigen, die im Inneren der Büsche stehen, treten sehr häufig Zweige mit nadelförmigen, abstehenden Blättern auf. — An sonnigen Abhängen sind die Blätter von *Geranium sanguineum* alle ungefähr vertikal gestellt; im Schatten stellen sich die Blätter senkrecht zum Lichte. Bei den fiederspaltigen Blättern vieler Kompositen und Umbelliferen geht mit der größeren Flächenentwicklung im Schatten die Ausbreitung der Fiedern in einer Ebene Hand in Hand.

Ein ähnliches Verhalten zeigen nach v. Kerner (Pflanzenleben, Bd. I p. 319) die Blätter von *Tilia alba* und *T. tomentosa*. Im Sommer nehmen nämlich die Blattspreiten an jenen Ästen und Zweigen, die der Sonne ausgesetzt sind, eine nahezu vertikale Lage an; steht aber der Baum z. B. am Rande eines geschlossenen Waldes und ist er zum Teil beschattet, so bleiben die Blätter an diesem beschatteten Teile horizontal ausgebreitet.

Bekanntlich besitzen die Blätter der „Kompaßpflanzen“ die merkwürdige Eigenschaft, sich während ihrer Entwicklung normal zu stellen und sich in der Meridianebene auszubreiten, so daß sie parallel zum stärksten einfallenden Lichte stehen und sich damit seiner Wirkung entziehen (Stahl, Kompaßpflanzen, Jena 1881). Sehr bekannt durch diese Stellung der Blattspreiten ist das in Nordamerika vorkommende *Silphium laciniatum*. „An dieser Pflanze — sagt Kerner in seinem Pflanzenleben (I. p. 318) — war es den Jägern in den Prärien längst aufgefallen, daß die Flächen der Blätter, namentlich jener, welche vom untersten Teile des Stengels ausgehen, nicht nur eine vertikale Lage annehmen, sondern immer auch so gerichtet sind, daß jedes Blatt die eine Breitseite nach Sonnenaufgang, die andere gegen Sonnenuntergang wendet. Diese Richtung wird von

der lebenden Pflanze auf den Prärien so gut und so regelmäßig eingehalten, daß die Jäger bei trübem Himmel sich nach dieser Pflanze über die Weltgegend zu orientieren imstande sind. Für das Leben der Kompaßpflanzen selbst hat die Meridianstellung ihrer vertikal aufgerichteten Blätter den Vorteil, daß die Flächen von dem am kühlen und relativ feuchten Morgen und ebenso am Abend wohl durchleuchtet aber nicht stark erwärmt und nicht übermäßig zur Transpiration angeregt werden, daß dagegen zur Mittagszeit, wenn die Blätter nur im Profil von den Sonnenstrahlen getroffen werden, auch die Erwärmung und Transpiration verhältnismäßig gering sind. Bei *Lactuca Scariola* beobachtete Korschinski (Bot. Zentralbl. XXII. Bd. 1885 p. 200) folgendes: Exemplare, die auf trockenen, von der Sonne beschienenen Boden wachsen, haben eine meridionale Blattstellung; Exemplare, die zerstreutes Licht erhalten, haben Blätter mit normaler Lage; bei solchen Individuen, die auf freien, aber feuchten Plätzen wachsen, sind die Blätter nach verschiedenen Richtungen orientiert. Bei besonnten *Linosyris villosa* waren die Blätter in der meridionalen Ebene ausgebreitet; bei teilweise beschatteten Exemplaren waren sie nach verschiedenen Richtungen gewendet. *Tanacetum vulgare* wäre aus den Kompaßpflanzen auszuscheiden, denn die an freien Plätzen erwachsenen Individuen stellen zwar ihre Blattspreiten vertikal, jedoch „ohne hierbei sich nach dem Lichte zu richten“.

## 2. Reduktion der Belaubung.

Es ist klar, daß durch Verkleinerung der Blattfläche sich auch die Transpiration vermindern muß. Eine solche Verkleinerung der verdunstenden Fläche des Laubes kann entweder durch Reduktion der Blattzahl oder durch Reduktion der Blattgröße oder durch Vereinigung beider Eigentümlichkeiten erreicht werden. Bekanntlich haben auch Pflanzen, die heißen und regenarmen Florengebieten angehören, häufig schuppenförmige, schmallanzettliche, zylindrische oder zu Dornen umgewandelte Blätter, oder es übernehmen grüne Zweige oder fleischig werdende Stengel die Funktion der Blätter, wie bei verschiedenen kandelaberartigen Euphorbien und zahlreichen Kakteen der Gattungen *Cereus*, *Echinocactus*, *Melocactus*, *Mamillaria*, *Opuntia* etc. Eine Verkleinerung der verdunstenden Oberfläche wird durch die Ausbildung des Dickblattes erreicht. Zu solchen Pflanzen mit Dickblättern gehören verschiedene, an leicht austrocknendem, sandigem Boden, an Steinwänden und Mauern vorkommenden Arten der Gattung *Sedum*, die *Semperviven*, die Gattung *Crassula*, welche dem trockenen,

südafrikanischem Gebiet angehört, die Gattung *Echeveria*, die auf den felsigen Hochflächen Mexikos unter ähnlichen Bedingungen gedeiht, Arten von *Cotyledon*, *Mesembryanthemum*, *Aloe* etc. Als hierher gehörige Gewächse führt Kerner eine Anzahl von Orchideen an (*Brasavola cordata* und *tuberculata*, *Dendrobium junceum*, *Leptotes bicolor*, *Oncidium Cavendishianum* und *longifolium*, *Sarcanthus rostratus*, *Vanda teres*), die auf Felsen oder als Überpflanzen auf der Borke der Bäume in Tropengegenden leben, die länger als ein halbes Jahr großer Trockenheit ausgesetzt sind.

Eine sehr weitgehende Beschränkung des transpirierenden Laubes zeigen die Rutengewächse. Sie sind entweder schlank, hohl und wenig verästelt, wie Arten der Gattungen *Scirpus*, *Juncus*, *Schoenus* oder bilden besenartige Sträucher. In der Mediterran-Flora erscheinen einzelne Asparagaceen, Polygalaceen, Santalaceen und Papilionaceen, unter letzteren die Gattungen *Retama*, *Genista*, *Cytisus* und *Spartium*, deren grüne, berindete Zweige entweder blattarm oder blattlos sind. Bezüglich *Spartium junceum* sagt Griesebach (*Vegetation*, Bd. I, S. 299): „Kommen an diesem Strauch auch in gewisser Jahreszeit einzelne Blätter von geringer Größe vor, so haben dieselben doch keine beachtenswerte physiologische Bedeutung; hier muß vielmehr das Gewebe dünner, zylindrischer Zweige die Tätigkeit der Blätter ersetzen.“ Auch Kerner (*Pflanzenleben*, Bd. I, S. 313) meint, die Blättchen dieses *Spartium* seien so untergeordnet, „daß ihr grünes Gewebe nur zum kleinsten Teil die für den weiteren Zuwachs der Pflanze notwendige organische Substanz bilden könne“, welche Aufgabe vorwiegend der Rinde der Zweige zukomme. Auf Grund von Transpirationsergebnissen jedoch, die Berger mit beblätterten und mit entblätterten Zweigen von *Spartium junceum*, *Cytisus scoparius* und *Calycotome villosa* in Neapel erhalten hat, schließt dieser Autor, daß die assimilatorische Leistung der Blätter nicht so gering angeschlagen werden kann. In allen Fällen war (während der „leafy season“) das relative Transpirationsvermögen der Blätter viel größer als das der Zweigrinde. So verlor z. B. während dreistündiger Sonnenexposition ein mit jungen Blättern besetzter Zweig von *Spartium junceum* (mit der Schnittfläche in einem mit Wasser gefüllten Gläschen stehend) 2,47 g, ein ebenso großer entblätterter Zweig (mit verschlossenen Blattnarben) nur 1,32 g an Gewicht. Bei einem anderen Versuch, zur Zeit, als die Blätter bereits volle Größe erreicht hatten, transpirierte (3 Stunden Sonne) der beblätterte Sproß 3,24 g, der blattlose nur 1,15 g. Eine interessante Reduktion der Lamina mit dem Vorschreiten der warmen Jahreszeit

zeigt *Spartium scoparium*. Diese Pflanze hat an den Frühlingstrieben dreizählige Blätter; an den Sommertrieben werden sie allmählich kleiner und gehen schließlich unter Verlust der beiden Seitenblättchen in einfache, fast schuppenartige Blätter über. (Winkler in Verh. d. Ver. der preuß. Rheinlande etc. 37. 1880.)

Eine weitgehende Reduktion der Belaubung tritt naturgemäß bei Wüstenpflanzen auf. Eingehend wurde diesbezüglich von Volkens (232, 239) die Flora der ägyptisch-arabischen Wüste untersucht. Bei einer Reihe von Wüstenpflanzen verdorren entweder alle zur Regenzeit und meist nur an den Basalteilen vorhandenen Blätter, sobald die Hitze steigt (*Zilla myagroides*, *Statice pruinosa*, *Pityranthus tortuosus* und *P. triradiatus*) oder es bleiben nur solche übrig, die sich durch Kleinheit oder durch besondere Organisation von den absterbenden unterscheiden (*Convolvulus lanatus*, *Cocculus Leaeba* etc.). Bei einer anderen Gruppe kommt es entweder von vornherein, abgesehen von den ersten Stadien der Keimung überhaupt zu keiner Blattbildung, oder aber dieselbe bleibt so beschränkt, „daß die sich aus ihrer Gesamtheit ergebende Fläche ein Minimum darstellt“.

Blattlos sind nach Volkens: *Tamarix articulata*, *Retama Raetam*, *Anabasis articulata*, *Haloxylon Schweinfurthii*, *Ephedra Alte*; so gut wie blattlos: *Ochradenus baccatus*, *Farsetia aegyptica*, *Lavandula coronopifolia*, *Calligonum ramosum*, *Polygonum equisetiforme*, *Ephedra alata*; rudimentäre, resp. durch Dornen vertretene Blätter haben: *Tamarix manifera*, *Fagonia Bruguieri*, *Iphiaea mucronata*, *Traganum nudatum*, *Anabasis setifera*, *Cornulacca monacantha*.

In einer anderen Abhandlung macht Volkens (Ber. Deutsch. Bot. Ges. Bd. VIII, 1890) auf die weitgehende Blattreduktion der Arten der Gattung *Fabiana* aufmerksam, welche die trockenen Gebiete Chiles, Perus und besonders der Wüste Atakama bewohnen. *Fabiana viscosa*, *Peckii* und *denudata* haben nur wenige Blättchen, die nach der kurzen Regenzeit wieder abfallen; *F. squammata* und *bryzoides* besitzen so kleine und den langen Rutenzweigen so fest angepreßte Blätter, „daß man sie in ihrer Gesamtheit bei oberflächlicher Prüfung für die grüne Rindenschicht halten könnte“.

In den regenarmen Distrikten Australiens sind Holzpflanzen (*Casuarinen*, *Leguminosen*, *Santalaceen*) mit kleinblättrigem Laube sehr verbreitet. „In kontinentalen Australien begegnen uns in den lichten Wäldern die schmallanzettlichen *Phyllodien* der Akazien und vieler anderer Pflanzen, die allmählich auf Sandboden der Rutenform der *Casuarinen*, des *Exocarpus*, *Santalum* u. A. und im Skrub den

zylindrischen Blättern der *Hakea*, *Petrophilla*, *Isopogon*arten weichen“ (Tschirch).

Eine Reduktion der Transpirationsfläche ergibt sich auch aus dem Nanismus. Holtermann (365) beobachtete in Nordceylon auf ganz trockenen, wochenlang von keinem Regentropfen genetztem und tagsüber stark erhitztem Boden eine Vegetation, deren Vertreter vielfach auffallend zwergartig erschienen. *Erigeron asteroides*, sonst 40—45 cm, war hier nur 1—2 cm hoch; *Veronica cinerea*, sonst 50—60, war dort nur 1—2 cm hoch. Auch andere, wie *Vicoa auriculata*, *Heylandia latebrosa*, *Laurea pinnatifida*, *Epaltes divaricata* zeigten Zwergwuchs. Interessant ist, daß die Pflanzen, die aus den Samen dieser Zwerge im botan. Garten zu *Paradeniya* erzogen wurden, normale Größe erreichten.

Auch durch den (bei uns vor Eintritt des Winters, im Süden vor Eintritt der heißen Jahreszeit) sich einstellenden Laubfall der Holzpflanzen sowie durch das jährliche Absterben der oberirdischen Teile perennierender Stauden wird das Wasserbedürfnis der betreffenden Gewächse für einen Teil des Jahres in hohem Maße vermindert. Molisch (237) machte die Beobachtung, daß Gewächse, welche in feuchter Luft zu leben gewöhnt sind, ihre Blätter teilweise oder vollständig abwerfen, sobald sie trockener Luft, ungenügender Wasserzufuhr oder beiden zugleich ausgesetzt sind. „Die Pflanzen suchen eben in Zeiten der Wassernot ihre verdunstende Oberfläche durch Abstoßen der Blätter möglichst zu verkleinern, um Stengel und Knospen vor völligem Austrocknen zu bewahren“; die Trennungsschicht verschließt nach dem Abfall des Blattes die kleine Wunde.

### 3. Verdickung und Kutikularisierung der äußeren Epidermiszellwände.

Starke Verdickung und Kutikularisierung der äußeren Epidermiszellwände ist eine bei Pflanzen heißer und regenarmer Erdstriche sehr verbreitete Erscheinung. Tschirch beobachtete sie bei den australischen Xanthorrhoeen, Proteaceen, Epacrideen, Johow bei manchen auf den Ljanos von Venezuela lebenden Bäumen, die eine dürre Vegetationsperiode zu bestehen haben und während derselben die Belaubung nicht abwerfen. Volkens führt viele Pflanzen der ägyptisch arabischen Wüste an, deren Blätter eine stark kutinisierte Epidermisaußenwand haben: *Alhagi manniferum*, *Lavandula coronopifolia*, *Panicum turgidum*, *Pityranthus tortuosus*, *Ochradenus baccatus*,



Retama Ratam, Zilla myagroides etc. Auch bei den Gewächsen der einheimischen Flora läßt sich der Einfluß des Standortes auf die Epidermisstruktur nachweisen. So fand Volkens (215) für Achillea Millefolium, Campanula rotundifolia, Rumex Acetosella, Viola tricolor Altenkirch (287) bei Carex humilis, Centaurea pannonica, Euphorbia Cyparissias, Peucedanum Cervicaria, Rumex Acetosella, daß mit der Zunahme der Trockenheit des Standortes die Verdickung und Kutikularisierung der äußeren Epidermiswände zunimmt.

Der Ansicht von Fleischer (218), daß starke Verdickung und Kutikularisierung der äußeren Epidermismembran in erster Linie mechanischen Zwecken (Biegungsfestigkeit) diene, dagegen als Schutzmittel gegen epidermoidale Transpiration „eine sehr nebensächliche Rolle spiele“, kann ich mich nicht anschließen. Denn nach den experimentellen Beobachtungen von Aubert (270) verloren manche Crassulaceen und Mesembryanthemen mit sehr dünner Kutikula mehr Wasser als manche Nichtsukkulente mit dicker Kutikula. Pereskia aculeata mit dünner Kutikula transpirierte fast so stark wie Efeu; andere Kakteen mit dicker Kutikula 10—20mal schwächer. Die Beobachtungen von Leist (237) und von Bonnier (252) stimmen darin überein, daß die Außenwand und Kutikula der Blätter von Pflanzen alpiner Standorte stärker entwickelt sind als bei derselben Art in der Ebene und auch Wagner hat dies für viele Fälle bestätigt. Stenström erblickt in diesem alpinen Charakter „ein gesteigertes Bedürfnis nach Transpirationsschutz“.

Die Entwicklung einer mehrschichtigen Epidermis scheint nach Tschirch, da sie sowohl bei trocken- wie bei feuchtklimatischen Tropenpflanzen vorkommt, weniger eine Anpassung an Trockenheit zu sein als vielmehr in Beziehung zur Lichtwirkung zu stehen.

Auf die Bedeutung einer dicken und derben Oberhaut als Transpirationsschutz xerophytischer Gewächse hat bereits Brongniart (im Jahre 1830) hingewiesen.

Welchen Transpirationsschutz die Epidermis den sukkulenten Gewächsen gibt, erhellt aus den zwei folgenden Beispielen, deren erstes ich Haberlandt's *physiol. Anatomie* (S. 96) deren zweites meiner eigenen Erfahrung entnehme. Zwei gleich große Stücke a, b eines Aloëblattes wurden bis auf eine 10 qcm große Fläche auf der Oberseite allseits mit einem Talgüberzug versehen; sodann wurde von dem einen Blattstück a die Epidermis der freigelassenen Stelle mit dem Skalpell vorsichtig entfernt. Es betrug

die Transpirationsgröße pro qcm: nach 3 Stunden  $a = 524$ ,  $b = 22$  mg; nach 24 Stunden  $a = 2502$ ,  $b = 160$  mg. Es hatte somit das Blattstück mit z. T. fehlender Oberhaut nach 3 Stunden 23,5 mal, nach 24 Stunden 15,6 mal so viel an Gewicht verloren als das Vergleichsblatt mit vollständiger Epidermis. Von einer *Echeveria glauca* wurden zwei Blätter a, b abgetrennt und an der Schnittfläche mit Stanniol verschlossen. Blatt a wog 1,403 g und blieb intakt; vom Blatt b wurde die Epidermis zum größten Teil abgezogen; es wog dann 1,495 g. Es sei bemerkt, daß sich bei dieser Pflanze die Oberhaut bei einiger Übung sehr leicht mit einem Skalpell in großen Stücken und ohne mit freiem Auge sichtbare Verletzung des Mesophylls abziehen läßt. Die Blätter hingen auf feinem Draht frei nebeneinander. Nach 30 Stunden hatte Blatt a (mit Epidermis) 10,2 Proz., Blatt b (ohne Epidermis) 76,6 Proz. seines Lebendgewichtes verloren; letzteres war dann fast vertrocknet.

#### 4. Wachs- und Harzausscheidungen.

Daß Wachsauflagerungen die epidermale, unter Umständen auch die stomatäre Transpiration herabsetzen, ist experimentell wiederholt gezeigt worden; es sei diesbezüglich auf das im Kap. III Gesagte verwiesen und beigelegt, daß bereits Garreau den Wachsüberzug der Blätter als Transpirationsschutz bezeichnet. Bei Pflanzen, die an ihren natürlichen Standorten längeren Trockenperioden ausgesetzt sind, kommen Wachsüberzüge sehr häufig vor. Beispiele bei Volken's für die ägyptische Wüste, bei Holtermann für die wüstenartigen Gegenden Nordceylons. Bekannt ist das glanzlose, glauke Aussehen vieler Gewächse namentlich aus der Gruppe der Sukkulente n infolge des wachsartigen „Reifes“. Manche Pflanzen, wie *Salix fragilis*, *Amygdalus communis*, *Acer Pseudoplatanus* haben nur an der unteren, also an der direkter Insolation entzogenen Blattseite einen Wachsüberzug. In diesem Falle könnte derselbe bedeutungslos erscheinen. Dem ist aber nicht so, wie aus der folgenden Mitteilung Kerner's hervorgeht: „Bei ruhiger Luft sind diese Blätter an den aufrechten Zweigen so eingestellt, daß ihre untere Seite der Erde zugewendet ist; ein Anprall mäßiger Luftwellen genügt aber, um die Zweige gegen den Windschatten hinzubeugen und gleichzeitig die Blattspreiten so zu wenden, daß die untere Seite der Sonne und der Hauptströmung des austrocknenden Windes zugekehrt ist.

Einen interessanten Fall der Vermehrung der Wachs ausscheidung mit Zunahme der Notwendigkeit eines Transpirationsschutzes führt

Volkens in *Capparis spinosa* an. Das mit Beginn der Regenzeit entstehende Laub dieser Pflanze ist zart und von grüner Färbung; Wachs findet sich in einer verschwindend dünnen Schichte, die die Spalten der Stomata frei läßt. Sobald aber die Hitze sich steigert und der Boden auszutrocknen beginnt, nimmt die Wachsausscheidung auf der Oberfläche so lange zu, bis eine dicke, ununterbrochene Decke vorhanden ist, die den Blättern ihren starren, weißgrauen Charakter gibt. „Die Spalten sind fortan verschlossen, die Assimilation auf ein Minimum reduziert; gewonnen ist die fast vollständige Unterdrückung der stomatären Transpiration.“ Nach Nielson und Rauinkjär ist in wärmeren Sommern an manchen Gräsern eine stärkere Wachsausscheidung als sonst wahrzunehmen,

Von der südamerikanischen *Copernicia cerifera* sagt Salomon („Die Palmen“, Berlin 1887 p. 157): „Die drückendste Sonnenhitze und gänzlicher Regenmangel beeinträchtigen ihr Wachstum und ihre Entwicklung nicht; sie steht mitten unter sonnenverbrannten, dürrer Pflanzenresten üppig da, als ein Bild voll Lebenskraft.“ Zu dieser Fähigkeit, sich bei längerem Wassermangel lebend zu erhalten, trägt die Wachsausscheidung an den Blättern bei, die bekanntlich so reichlich ist, daß das „Carnaubawachs“ im großen gewonnen werden kann.

Volkens (Ber. Deutsch. Bot. Ges. VIII. Bd. 1890 p. 120) hat darauf aufmerksam gemacht, daß viele Pflanzen ausgesprochener Xerophytengebiete der südlichen Hemisphäre (chilenische und peruanische Anden, Wüste Atakama, Savannen, Capland, Australien) Laubblätter besitzen, deren beiderseitige Epidermis mit einem glänzenden Firnis gleichmäßig überzogen erscheint. Zu solchen Pflanzen mit „lakierten“ Blättern gehören u. a. Arten der Gattungen *Baccharis* und *Haplopappus* (Compositae), *Escallonia* (Saxifragaceae), *Beyeria* (Euphorbiaceae), *Fabiana* (Solanaceae). In der Regel sind es Drüsenhaare an den Laubblättern oder Drüsen an der Basis der Nebenblätter, die das Sekret bilden. Gegen die Aussage von Volkens, daß durch eine derartige „Lackierung“ der Blätter ihre kutikuläre Verdunstung fast auf Null reduziert wird, ist nichts einzuwenden.

Bereits Hanstein hat darauf hingewiesen, daß die Kollateralen der Knospenschuppen und jugendlichen Blattorgane als Schutzeinrichtungen fungieren, indem sie die zarten Blätter mit ihrem Sekrete überziehen und dadurch vor zu großem Wasserverlust (und anderen Schädlichkeiten) bewahren. Bei den überwinterten Knospen der sibirischen Holzpflanzen (*Rhododendron dahuricum*, *Crataegus sanguinea*, *Malus baccata*, *Lonicera caerulea*, *Betula alba* etc.), die wegen der Schwierigkeit der Wasseraufnahme der Gefahr des Austrocknens ausgesetzt sind, fand Schostakowitsch (312) starke

Kutikularisierung, dichte Behaarung und harzige Ausscheidungen der Knospendecken als Einrichtungen zur Retardierung der Transpiration.

### 5. Epidermale Kalkbildungen.

Zu den Schutzeinrichtungen xerophiler Plumbagineen gehören nach Volkens (216) epidermale Kalkablagerungen. Indem der genannte Autor bei einem Blatte von *Limoniastrum monopetalum* die Kalkschuppen beließ, bei einem anderen aber entfernte und die Wasserabgabe beobachtete, fand er dieselbe nach drei Stunden zu 8 bzw. zu 46 Proz. des ursprünglichen Blattgewichtes. Nach Tschirch (181) soll die Einlagerung von Kalkoxalatkristallen in der Oberhautzellmembran der Mesembryanthemumarten die Wasserabgabe der subepidermalen Gewebe retardieren.

### 6. Haarbedeckung.

Es ist lange bekannt, daß Pflanzen regenarmer und zugleich wärmerer Standorte häufig stark behaart sind, und Haberlandt (vgl. S. 42) hat den experimentellen Beweis geliefert, daß ein dichter Haarfilz den Pflanzen einen ausgiebigen Transpirationsschutz gewährt.

Nach Fleischer und Volkens (232, 239) hat man zwischen toten (luftführenden) und lebenden (Plasma, Zellsaft führenden) Haaren zu unterscheiden. Nur die ersteren werden von diesen Autoren als Transpirationsschutzmittel angesprochen (die lebenden Haare sind ja selbst schutzbedürftig), indem sie den Luftwechsel verzögern, die Wirkung der Insolation vermindern und dadurch die Evaporation herabdrücken. Kommen sie in großer Menge (als Haarfilz) vor, so sind sie bei Tage ein Schutzmittel gegen Wasserverlust, während der Nacht aber „ein die Bildung und Absorption des Taues fördernder Apparat“. Kerner („Pflanzenleben“ I. Bd.) führt folgenden Versuch an, welcher zeigt, wie ein Haarkleid ähnlich einem trockenen Lappen durch Erniedrigung der Erwärmung die Verdunstung retardiert. Wenn man von einem Himbeerstrauche, zwei in ihrer Größe ganz übereinstimmende, knapp nebeneinander vom Stengel entspringende Blätter als Hüllen von Thermometern benutzt, so, daß das Blatt, welches die Kugel des einen Thermometers deckt, die weißfilzige Unterseite, das andere die grüne, haarlose Oberseite der Sonne zuwendet und wenn man beide in die gleiche Lage zur Sonne einstellt, so erhöht sich die Temperatur an dem mit der grünen Seite der Sonne zugekehrten Blatte innerhalb fünf Minuten um 2—5 Grade über jene an dem

Blatte, welches die behaarte Seite der Sonne zuwendet. Werden solche Blätter abgepflückt und einige derselben mit der weißfilzigen Unterseite, andere mit der kahlen, grünen Oberseite der direkten Besonnung ausgesetzt, so schrumpfen und vertrocknen die letzteren immer viel früher als die ersteren. Vielleicht nirgends findet man die Behaarung des Laubes als Schutzmittel gegen Verdunstung in so ausgiebiger und mannigfaltiger Weise, wie im mediterranen Florengebiete. Es gibt, sagt Kerner, im mittelländischen Florengebiete kaum eine Pflanzenfamilie, aus welcher nicht reichlich behaarte Pflanzen bekannt wären; vorzüglich sind es Kompositen aus den Gattungen *Andryala*, *Artemisia*, *Evax*, *Filago*, *Inula*, *Santolina*, dann Labiaten aus den Gattungen *Phlomis*, *Salvia*, *Teucrium*, *Marrubium*, *Stachys*, *Sideritis* und *Lavandula*, Zistrosen, Windlinge, Skabiosen, Papilionaceen etc., die ein dichtes Haarkleid tragen. Bekanntlich weisen außereuropäische Wüsten- und Steppengebiete relativ viele Pflanzenarten mit beiderseits dicht behaarten Blättern auf (Beispiele bei Tschirch, Volkens, Schimper, Kerner etc.).

Bezüglich jener Gewächse, die nur an der unteren Seite mit haarigem Überzug versehen sind, könnte es scheinen, daß dieses als Schutzmittel gegen die Gefahr einer übermäßigen Transpiration ziemlich bedeutungslos sei. Die Beobachtungen in der freien Natur lehren aber das Gegenteil. Ähnlich wie bei den Blättern, die nur an der unteren Seite mit einem Wachsüberzug versehen sind, sagt v. Kerner im „Pflanzenleben“, sieht auch bei den in Rede stehenden die untere Seite der Blattspreite nur bei ruhiger Luft der Erde zu; sobald die Luft in strömende Bewegung versetzt wird, findet sofort eine Biegung und Krümmung der Zweige und Blattstiele und eine Wendung der Blattspreiten statt, derzufolge die untere, behaarte Seite nach oben gekehrt wird. Der austrocknende Luftstrom gleitet dann über jene Blattseite, welche gegen den zu weit gehenden Wasserverlust durch das Haarkleid geschützt ist. Auffällig ist diese Blattwendung bei Pflanzen mit verschiedenfarbigen Blattseiten, wie bei *Populus alba*, *Salix Caprea*, *Sorbus Aria*, *Rubus Idaeus* etc.

In welcher Weise die Trichomgebilde am Stammscheitel der Farne für die Wasserökonomie dieser Pflanzen nützlich sind, darüber hat Goebeler Erfahrungen gewonnen. Er lackierte das Stammende zweier Exemplare von *Polypodium aureum*, entfernte dann nach Trocknung des Lackes an dem einen die Spreuschuppen, während er sie an dem anderen beließ, worauf beide neben konzentrierte Schwefelsäure aufgestellt wurden. Aus den erhaltenen Gewichts-differenzen schließt der Autor, daß im allgemeinen die Transpiration

durch die Bedeckung mit lebenden Trichomen wesentlich erhöht, nach Absterben der Trichome aber wesentlich vermindert wird. Indem nun die abgestorbenen, kutikularisierten Trichome in vielfacher Schichtung den Stammscheitel der Farne und die jungen lebenden Trichome überlagern, wird der Wasseraustritt aus den darunter liegenden Geweben sehr beschränkt.

Vesque (Ann. sc. nat. Bot. 6 ser., tom. XII) hat durch Kulturversuche gefunden, daß mit der Zunahme der Trockenheit des äußeren Mediums die Haarbedeckung sich steigert; auch fand Brenner bei verschiedenen Quercusarten eine Steigerung der Behaarung mit Zunahme der Insolation. Damit steht auch im Einklange, daß in den mittel- und südeuropäischen Gebirgen, auf deren Höhen eine alpine Vegetation angetroffen wird, die Zahl der Formen mit filzigem und seidigem Laub in dem Maße zunimmt, je weiter nach Süden diese Gebirge gelegen und je mehr dieselben zeitweiliger Trockenheit ausgesetzt sind.

### 7. Spaltöffnungen.

Da die Pflanze auf dem Wege der stomatären Transpiration in der Regel viel mehr Wasser verliert als durch die Epidermis, so ist anzunehmen, daß in besonderen Eigentümlichkeiten des Spaltöffnungsapparates wirksame Schutzmittel gegen zu große Transpiration liegen werden. Was zunächst die numerische Menge der Spaltöffnungen betrifft, so ist klar, daß unter sonst gleichen Umständen eine Verminderung der Spaltöffnungszahl eine Herabsetzung der Verdunstungsgröße zur Folge haben muß. Durch vergleichende Zählungen fand Czech, daß solche Pflanzenarten, die nasse Standorte lieben, mehr Spaltöffnungen (per qmm) haben, als verwandte xerophile Arten derselben Gattung; z. B. *Populus nigra* 135, *P. alba* 315; *Brassica lyrata* 400, *B. palustris* 609; *Veronica chamaedrys* 175, *V. Beccabunga* 248. Zu einem analogen Ergebnis kam Zingeler (Jahrb. wiss. Bot. IX, 1873—74) bezüglich *Carex*; er fand bei solchen Carices, die an trockenen, lichten Orten leben, 50—70, bei Arten feuchter, schattiger Standorte 60—160, endlich bei solchen, die in stehenden Gewässern, Wassergräben u. dgl. vorkommen, 250—370 Stomata. Auch Volken's zeigte für verschiedene Pflanzen, daß mit der Zunahme der Trockenheit des Standortes die Zahl der Spaltöffnungen abnimmt. Wenn A. Weiß sagt: „Ich habe die verschiedensten Pflanzen sehr trocken, sehr feucht, sogar von Anfang an unter Wasser gezogen, nie jedoch eine Differenz in der Zahl oder Größe ihrer Spaltöffnungen gefunden, die nicht noch zwischen die an jeder Pflanze beobachteten Maxima

und *Minima fiele*“ so weiß ich nicht, was der Autor damit meint. Glaubt er, daß der Feuchtigkeitsgrad des Mediums, in dem sich die oberirdischen Teile einer Pflanze entwickeln, auf die Zahl der entstehenden Spaltöffnungen keinen wesentlichen Einfluß ausübt, dann widerspricht dies allerdings den Beobachtungen aller anderen Botaniker.

Einen viel größeren Einfluß auf die Transpirationsgröße als die Zahl der Spaltöffnungen hat der Öffnungsgrad derselben. Wie ich glaube, war *Leitgeb* der erste, der die biologische Bedeutung der Schließungsfähigkeit des Spaltenapparates erkannt hat. Gestützt auf die Tatsache, daß der Spaltenschluß immer erfolgt, sobald die Bodenfeuchtigkeit unter ein gewisses Maß herabsinkt, sprach sich dieser Forscher dahin aus, „daß der Pflanze dadurch die Möglichkeit geboten ist, die Transpirationsgröße unabhängig von der Tageszeit ihrem Wassergehalte anzupassen und so die Gefahr eines zu weit gehenden Wasserverlustes abzuschwächen.“

Mannigfaltig sind die anatomischen Einrichtungen des Spaltöffnungsapparates, durch welche bei den Pflanzen trockener Klimate die (stomatäre) Transpiration herabgesetzt wird. Eine übersichtliche Zusammenstellung gibt *G. Haberlandt* in seiner physiologischen Pflanzenanatomie. Eine dieser Eigentümlichkeiten ist die Versenkung der Spaltöffnungen unter das Niveau der benachbarten Epidermiszellen; die Spaltöffnungen liegen am Grunde einer schalen-, trichter-, krug- oder zylinderförmigen Einsenkung („äußere Atemhöhle“). Diese Schutzeinrichtung wurde zuerst von *Pfitzer* erkannt und von ihm sowie von *Volgens* und namentlich von *Tschirch* für eine Reihe von Steppen- und Wüstenpflanzen genauer beschrieben. Bei *Retama*, manchen *Aristiden*, *Elionurus*, *Danthonia* sind nach *Volgens* (215) die Spaltöffnungen in rilligen Furchen gelagert, die durch sich verschränkende Haare gegen die Außenluft noch besonders abgesperrt werden. Bei anderen *Aristiden*, bei *Sporolobus* und *Cynodon* wachsen die die Schließzellen umgebenden Epidermiszellen zu Papillen aus, die sich so aneinander und gemeinsam über die Zentralspalte lagern, daß dadurch ein Hohlraum entsteht, der nur durch eine winzige Öffnung mit der Atmosphäre kommuniziert. Auch die inneren Atemhöhlen weisen bei xerophilen Pflanzen nicht selten Einrichtungen auf, die den stomatären Wasseraustritt erschweren. Hierher gehört z. B. die Auskleidung der Atemhöhle mit eigentümlich geformten, mechanischen Zellen oder Zellfortsätzen, die von *Tschirch* in den Blättern von *Kingia australis* und *Xanthorhea hastilis* beobachtet wurden, sowie die stark verdickten,

eine wässrige Flüssigkeit führenden, von Pfitzer als „Schutzzellen“ bezeichneten Zellen, die nach den Untersuchungen dieses Forschers die krugförmigen Atemhöhen der neuholländischen und der kapensischen Restionaceen auskleiden.

Tschirch (181) unterscheidet mit besonderer Rücksicht auf die Xerophytenflora Australiens folgende Einrichtungen an den Spaltöffnungsapparaten: a) trichterförmig, krugförmig, schalig oder zylindrisch vertiefte stomata; b) Spaltöffnungsapparate mit stark, beziehungsweise schwach entwickelter Kutikularleiste; c) Vorkommen der Spaltöffnungen auf dem Grunde von Längsfurchen; d) an den Böschungen von mit Haaren ausgekleideten Längsrinnen; e) auf der Oberseite einrollbarer Blätter; f) in mit Haaren ausgekleideten Krügen. —

Eine begreiflicher Weise sehr bedeutende, in manchen Fällen nahezu vollständige Einschränkung muß die stomatäre Transpiration erfahren, wenn die Atemhöhlen durch thyllenartige Bildungen oder durch wachsartige Sekrete verstopft werden. Über derartige „verstopfte Spaltöffnungen“ wurde bereits S. 40 gesprochen; ich führe hier noch eine interessante Beobachtung an, die Wulff bei *Betula alba* gemacht hat. Jene Exemplare, die von diesem Autor auf Sandhügeln unweit Engelholms Hafen gesammelt wurden, „wo sie als nur meterhohe Sträucher die intensive Beleuchtung und die starken, vertrocknenden Winde auszuhalten vermögen“ waren die (nur unterseits vorhandenen) Spaltöffnungen mit großen, bräunlich glänzenden Wachs Körnchen und zwar bis zur typischen Pfropfenbildung gefüllt; dagegen zeigten die Atemhöhlen an den Blättern der Birken im botanischen Garten von Lund keine Wachseinlagerung. — Bei *Dischidia bengalensis*, einem auf Java häufigen Epiphyten, beobachtete G. Haberlandt, daß bei eintretender Trockenheit die Atemhöhlen von einer stark lichtbrechenden, harzigen Masse verstopft werden, die meist bis zur Zentralspalte reicht. Bei den Umbelliferen *Deverra triradiata* und *D. tortuosa* fand Volkens (215) die Spaltöffnungen durch harzig wachsartige Massen verstopft. Über die Bedeckung der Spaltöffnungen durch epidermale Wachsbildungen bei *Capparis spinosa* wurde schon gesprochen.

### 8. Zellsaft.

Nach der Ansicht der Autoren sind Zellen mit organisch saurem, salzhaltigem, schleimführendem und auch gerbstoffreichem Inhalt imstande, die Widerstandsfähigkeit der Pflanzen gegen Austrocknung zu erhöhen. Auf Grund der Zellsaftuntersuchungen der Sukkulenten



hat sich Aubert (269), dessen umfangreiche Transpirationsarbeit wir schon S. 44 referiert haben, dahin ausgesprochen, daß organische Säuren (bei den Crassulaceen hauptsächlich Apfelsäure, bei Mesembryanthemen insbesondere Oxalsäure, bei den Cactaceen Apfelsäure und Weinsäure), ferner gumöse und schleimige Zellinhaltsstoffe es sind, die neben der geringen Oberflächenentwicklung die so geringe Wasserabgabe dieser Pflanzen bedingen. Das Vorkommen von verschleimten Epidermiszellen hat Radlkofer (Monogr. v. *Serjania* 1875) in vollkommenster Ausbildung bei Diosmeen, Volkens bei vielen Wüstenpflanzen (*Acacia tortilis*, *Caylusca canescens*, *Reseda arabica* und *pruinosa*, *Oligomeris subulata* etc.) beobachtet. Da kolloide Substanzen im flüssigen Zustande Wasser nur langsam abgeben, so kann es keinem Zweifel unterliegen, daß der in den Oberhautzellen vorkommende Schleim die Transpiration retardiert.

Man weiß, daß Gewächse mit chlornatriumhaltigem Zellsaft, wie Chenopodiaceen, Salsolaceen, trockene Standorte bevorzugen. Sie begegnen uns — sagt Tschirch — reichlich in den Steppen Asiens wie im Inneren des australischen Kontinentes, wo wir in der dürrsten Periode des Jahres, wenn alles andere, von der Sonne verdorrt, einen traurigen Anblick darbietet, die Salzsteppe noch grünen und blühen sehen.

Die Blätter der immergrünen Pflanzen gemäßigter und nördlicher Klimate würden im Winter infolge der sehr herabgestimmten Wurzel-tätigkeit der Gefahr des Vertrocknens ausgesetzt sein; sie müssen daher, um sich zu erhalten, die Verdunstungsgröße auf ein geringes Maß herabsetzen. Warming (Botan. Ges. Stockholm 1883) und Fleischer (218) halten die Gerbsäure, die sich fast bei allen überwinternden Laubblättern, besonders in der Epidermis vorfindet, für ein winterliches Transpirationsschutzmittel. Westermaier und Volkens (232) schließen sich dieser Ansicht an, letzterer auf Grund seiner Erfahrungen über das häufige Vorkommen der Gerbsäure bei Wüstenpflanzen. Ich zweifle nicht, daß die Gerbsäure zur Herabsetzung insbesondere der epidermoidalen Transpiration der Laubblätter einheimischer Sempervirenten beiträgt. Bedeutungsvoller für diese scheint mir aber der winterliche Verschluß der Stomata, den für zahlreiche wintergrüne Gewächse Leitgeb, Schwendener und Stahl konstatiert haben.

Volkens (232) weist darauf hin, ob vielleicht der Milchsaft für die Herabdrückung der Transpiration wirksam sei, da die Zahl der Milchsaft führenden Pflanzen in heißen und trockenen Klimaten eine relativ große ist.

### 9. Verkleinerung der inneren Verdunstungsfläche.

So wie durch Reduktion der Blattgröße die äußere Verdunstungsfläche, so muß durch Verkleinerung der Intercellularen (besonders im Schwammparenchym) die innere Verdunstungsfläche und somit die stomatäre Transpiration eine Einschränkung erfahren. Tatsächlich konnte Volkens bei *Rumex Acetosella*, *Campanula rotundifolia*, *Viola tricolor*, *Achillea Millefolium* eine Reduktion der intercellularen Transpirationsfläche mit der Zunahme der Trockenheit des Standortes konstatieren. Bezüglich der australischen Eucalypten sagt Tschirch: „Während die Blätter der Arten, die in Talgründen, an Flüssen etc. angetroffen werden (*E. populifolius*, *tereticornis*, *globulus*) ein von vielen und großen Intercellularen durchsetztes Blattgewebe zeigen, schließen bei den Formen des Scrub die Zellen des Assimilationsgewebes dicht und fest aneinander.“ Auch bei Sonnen- und Schattenblättern derselben Pflanze zeigen sich diesbezüglich deutliche Unterschiede. Nach der Methode von Unger berechnete Stahl (246) den Gesamtraum der Intercellularen bei den Sonnenblättern von *Sambucus* (sp.) mit 16 Proz., bei den Schattenblättern mit 26 Proz., bei der Buche mit 19 Proz. resp. 29 Proz. des Blattvolumens.

### 10. Ausscheidung ätherischer Öle.

Auf p. 133 wurde die Entdeckung Tyndall's genannt, nach welcher eine Luftschicht, die mit den Dünsten eines ätherischen Öles geschwängert ist, eine geringere Diathermansie besitzt als gewöhnliche Luft.

Tyndall ließ durch einen Pappzylinder, der mit einem ätherischen Öl getränkt war, Luft strömen und bestimmte dann die Diathermansie derselben. War die Luft mit dem Dampfe des Rosenöles erfüllt, so absorbierte sie das 36fache der Wärmemenge, welche reine Luft absorbiert; für Zimmtöl betrug die Zahl 43, für Zitronenöl 65, für Rosmarinöl 74, für Kamillenöl 87, für Cassiaöl 109, für Anisöl 352.

Scheidet nun eine Pflanze ätherisches Öl in größerer Menge aus, so wird sie infolge der hohen Wärmeabsorption der sie umgebenden Luftschicht gegen zu starke Erwärmung bei Insolation geschützt, was wieder eine Verminderung der Wasserabgabe zur Folge hat. Darauf hat Volkens (323) hingewiesen und gleichzeitig eine Reihe von Wüstenpflanzen namhaft gemacht, bei denen kräftige Ausscheidungen flüchtiger Öle vorkommen. Als Sekretionsorgane fungieren nach diesem Autor entweder knopfartige Drüsenhaare (*Helian-*

themum kahiricum, *Stachys aegyptica*) oder einzelne, an ihrer Außenwand sich nicht verdickende Epidermiszellen (*Achillea fragrantissima*, *Artemisia judaica*, *Centaurea aegyptica*). Für die Richtigkeit dieser Ansicht dürften die schon auf S. 133 erwähnten Erfahrungen von Dixon (330) sprechen, nach denen die Wasserabgabe von beblätterten *Syringa* und *Cytisus*zweigen herabgesetzt wurde, sobald sich dieselben in einer Luft befanden, die von den, einer *Artemisia Absinthium* entstammenden Exhalationsprodukten erfüllt war. Eine gewisse Bedeutung für die Herabsetzung der Verdunstung xerophiler Pflanzen schreibt Griesebach (*Vegetation der Erde*, I p. 444) auch der Verdunstungskälte zu, die bei rascher Verflüchtigung (Dampfbildung) des ätherischen Öles entsteht.

Der Tyndall-Volkens'schen Auffassung haben sich Haberlandt, Wiesner, Warming, Drude u. a. angeschlossen; bekämpft wurde sie in neuester Zeit von Detto (371). Ich habe schon früher (p. 134) auseinandergesetzt, daß Detto's Transpirationsversuche, soweit es ihre Unvollkommenheit zuläßt, den Befund Dixon's bestätigen. Wenn Detto sein Ergebnis dahin zusammenfaßt, „daß die Öldämpfe eine merkliche Herabsetzung der Transpiration nur bei gleichzeitiger Schädigung der Blätter bewirkten, und er daher glaubt, die exogenen ätherischen Öle zu wirksamen Schutzmitteln der Pflanzen besonders gegen Schnecken und Weidetiere xerophiler Formationen rechnen zu müssen, so ist zu bemerken, daß in seinen Versuchen eine Depression der Transpiration schon zu einer Zeit konstatiert werden konnte, in welcher eine Schädigung der Blätter durch Ölaufnahme äußerlich nicht sichtbar war und daß es denn doch ein Unterschied ist, ob man eine Pflanze oder gar ein einzelnes Blatt, das kein ätherisches Öl ausscheidet, in einem kleinen Raum verschlossen, der Wirkung des von einer anderen Pflanze gewonnenen flüchtigen Öles aussetzt, oder ob eine Pflanze im Freien, am natürlichen Standorte von den Dünsten des Öles umgeben ist, das sie selbst produziert. Übrigens können die durch Hautdrüsen erzeugten ätherischen Öle ein Schutzmittel gegen Tierfraß bilden und außerdem noch anderen Zwecken dienen, u. a. zur Beschränkung der Wasserabgabe. Auf den Einwand von Detto, daß z. B. in der Sahara die Wirkung des ätherischen Öles gerade zur Zeit, wenn die Dunsthülle für die Pflanze von Vorteil wäre, nämlich in der Periode des Chamsin, dessen gefährlich austrocknende Wirkung bekannt ist, nicht zur Geltung kommen kann und daher „die Entwicklung einer derartigen Einrichtung unter der angenommenen Bedeutung gar nicht hätte stattfinden können“ ist zu erwidern, daß die Umhüllung der

Pflanze mit einer ölreichen Luftschichte nicht das einzige Transpirationsschutzmittel bildet, und daß, wenn durch einen mehrere Tage hintereinander wehenden Chamsin wirklich alle annuellen Pflanzen verdorren, auch die anderen Einrichtungen für Wasserrückhaltung und Wasserversorgung der Saharapflanzen einen nur problematischen Wert hätten.

## II. Variationsbewegungen.

Bei vielen Papilionaceen, Caesalpiniaceen, Mimosaceen, Oxalideen sind die Blattfiedern des Morgens ausgebreitet, erheben sich bei Zunahme der Sonnenhöhe, so daß sie schließlich fast parallel zum auf fallenden Lichte gerichtet sind; im Laufe des Nachmittages tritt wieder die Rückbewegung ein. Dadurch schützen sich die Blätter im Falle intensiver Sonnenbestrahlung bei möglichster Ausnützung des Lichtes vor starkem Wasserverlust (und Chlorophyllzerstörung). Manche xerophile Pflanzen mit Fiederblättchen, wie *Tribulus alatus* und *Cassia ovata* richten nach Volken's an besonders heißen Tagen die Fiedern derart auf, daß die ein Paar bildenden Blättchen mit ihren Oberseiten zur Deckung gelangen; andere, wie *Astragalus Forskalii* und *leucacanthus* schlagen jedes Fiederblatt in der Mittelrippe nach oben zusammen. An mehreren Sauerklearten, auch an *Oxalis Acetosella*, schlagen sich die drei Blättchen, sobald die Pflanze an einem freieren Standorte von den Sonnenstrahlen direkt getroffen wird, herab, legen sich mit der die Spaltöffnungen führenden Unterseite aneinander und bilden so eine steile Pyramide, während die Blättchen an schattig-feuchten Orten flach ausgebreitet sind.

Eine zweifelsohne auch bei anderen Pflanzen vorkommende Erscheinung ist jene, die L. und K. Linsbauer an *Broussonetia papyrifera* beobachteten (Ber. Deutsch. Botan. Ges. 21. Bd. 1903). Sie fanden, daß hier die Laminarhälften der peripherisch stehenden Blätter an normalen Tagen periodische Bewegungen ausführen, indem sich die Blattränder in den Vormittagsstunden einander nähern, diese Bewegung auch in den Nachmittagsstunden fortsetzen, später aber wieder die Rückbewegung machen. Eine Steigerung äußerer Transpirationseinflüsse, wie größere Lufttrockenheit, Beleuchtungsstärke, Luftbewegung veranlaßt eine partielle Schließung, während die Blätter auf Zunahme der relativen Luftfeuchtigkeit mit einer Öffnungsbewegung antworten.

## 12. Einrollung und Faltung der Blätter.

Variationsbewegungen je nach dem Feuchtigkeitszustande der Luft zeigen auch die Blätter gewisser Gräser, besonders Arten der Gattungen *Sesleria*, *Avena*, *Stipa*. Am Morgen sind die linealen Blätter an der Oberseite rinnenförmig oder ganz flach ausgebreitet; sobald mit dem höheren Stande der Sonne die Feuchtigkeit der Luft abnimmt, falten sie sich der Länge nach zusammen und erst nach Sonnenuntergang breiten sie sich wieder aus und werden flach und rinnenförmig. Wie sehr diese Erscheinung von den Feuchtigkeitsverhältnissen der Luft abhängig ist, ergibt sich daraus, daß (nach Kerner) Stöcke solcher Gräser, die in Töpfen kultiviert werden, leicht zum Öffnen und Schließen ihrer Blätter gebracht werden können, wenn man sie abwechselnd mit Wasser bespritzt und in feuchte Luft stellt, — dann wieder trockener Luft aussetzt. Bei den *Seslerien* bleibt die Mittelrippe in ihrer Lage unverändert; die beiden Laminar-

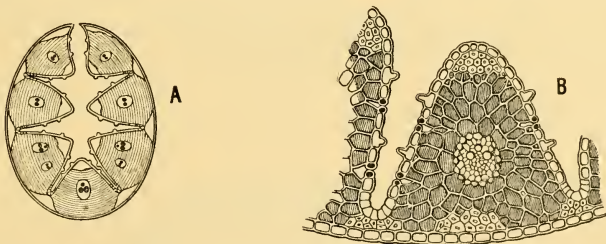


Fig. 19. A Querschnitt durch ein geschlossenes Blatt, B durch ein Stück des offenen Blattes von *Festuca Porcii* nach Kerner (A <sup>24</sup>/<sub>1</sub>, B <sup>210</sup>/<sub>1</sub>).

hälften richten sich steil auf und lassen einen tiefrippigen, unten etwas ausgeweiteten Hohlraum frei. In diesem liegen dann die nur auf der Blattoberseite vorkommenden Spaltöffnungen, welche gleich dem angrenzenden Assimilationsparenchym sowohl gegen den Auffall der Sonnenstrahlen wie auch gegen den direkten Anprall des Windes geschützt sind. Bei den Blättern verschiedener *Festuca*-Arten, wie z. B. bei der Fig. 19 abgebildeten *F. Porcii* beobachtet man an der Oberseite mehrere parallele, längsläufige Rinnen, durch die das Mesophyll in vorspringende Riefen geteilt wird; die Scheitelkante, sowie die Basis der Riefen enthält subepidermale Baststränge; die Spaltöffnungen liegen in den Böschungen der zwischen den Riefen verlaufenden Rinnen. Beim Zusammenfallen des Blattes

verengen sich die zwischen den Riefen eingeschalteten Rinnen; am meisten die untersten. Da die Spaltöffnungen an den Böschungen der Riefen liegen, wird die Transpiration auf das äußerste beschränkt. Durch dieses Vermögen der Gramineenblätter, bei Austrocknungsgefahr ihre Laminarhälften aneinander zu legen und bei geringerer Feuchtigkeit (und Temperatur) der Luft wieder flach auszubreiten, sind diese Gewächse imstande, die Transpirationsgröße dem Feuchtigkeitsgrade des Bodens und der Luft entsprechend zu regulieren. Pfitzer, der schon im Jahre 1869 auf das Einrollungsvermögen der Gramineenblätter trockener, sandiger Orte aufmerksam gemacht hat, fand durch vergleichende Untersuchungen, daß die „Sandgräser“ (*Amophila arenaria*, *Calamagrostis Epigeios*, *Elymus arenarius*, *Festuca ovina* und *F. rubra*, *Stipa capillata* und *S. pennata*) oft gefurchte Blätter haben, in welchem Falle die Spaltöffnungen in den Furchen der beim Einrollen konkav werdenden Blattoberseite liegen, während die „Wassergräser“ (*Alopecurus geniculatus*, *Glyceria fluitans*, *plicata*, *spectabilis*, *Catabrosa aquatica*, *Digraphis arundinacea*, *Phragmites communis*) flache, bistomatische Blätter besitzen.

Doch gibt es Ausnahmen; so besitzen nach Pfitzer *Koeleria cristata* trotz des trockenen Standortes bistomatische, *Calamagrostis stricta* und *lanceolata* trotz der feuchten Wohnplätze epistomatische Blätter.

Der Vorteil, den das Vorkommen der Stomata in den Böschungen der bei großer Luft- und Bodentrockenheit mit den Oberseiten mehr weniger sich zusammenschließenden Blättern xerophiler Gräser hat, wird noch größer, wenn diese Spaltöffnungen sich nicht zu schließen vermögen. Wenigstens beobachtete Wulff, daß bei *Elymus arenarius*, deren Blätter im Laboratorium am Einrollen gehindert wurden, Kobaltpapier noch nach sechs Stunden röteten, obwohl sie dann infolge zunehmender Trockenheit fast völlig vertrocknet waren.

Das Vermögen, die Verdunstungsgröße je nach dem Feuchtigkeitsgrade der Luft durch Einrollung und Ausbreitung zu regulieren, besitzen auch manche Moose, insbesondere die Arten der Gattung *Polytrichum* (Fig. 20) und einige der Gattung *Barbula*. Bei diesen bilden die hauptsächlich hinsichtlich der Transpiration in Betracht kommenden Teile kurze Ketten dünnwandiger Zellen oder vorspringende Leisten auf der Oberfläche der Blättchen. In feuchter Luft sind die Blättchen flach ausgebreitet; sobald aber die Luft trockener wird, biegen sich die seitlichen Ränder des Blättchens auf und umwallen wie ein Mantel die grünen Leisten. Das Öffnen und

Schließen der Blättchen dieser Moose erfolgt nach Kerner ungemein rasch und kann sich bei wiederholtem Wechsel der Luftfeuchtigkeit mehrere Male an einem Tage abspielen.

Wie schon im V. Kapitel hervorgehoben wurde, zeigten nach den Beobachtungen von Rosenberg diverse Moorpflanzen eine deutlich ausgeprägte Verschiedenheit im Transpirationsverhalten der diesjährigen und der vorjährigen Blätter, indem die letzteren viel länger auf Kobaltpapier reagierten. Mit der geringen Regulierungsfähigkeit der Transpiration alter Blätter wird die Gefahr derselben gegen Austrocknung größer; durch die Fähigkeit der vorjährigen Blätter, die Blattränder stark zurückzubiegen oder einzurollen, wie dies bei *Empetrum nigrum*, *Andromeda polifolia*, *Ledum*

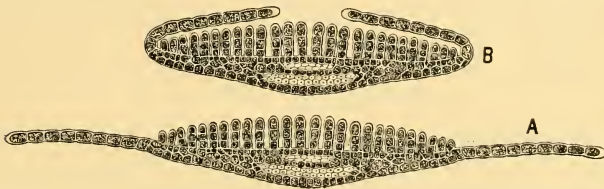


Fig. 20. Querschnitt durch A ein offenes, B ein geschlossenes Blatt von *Polytrichum commune* (nach Kerner).  $\frac{70}{1}$ .

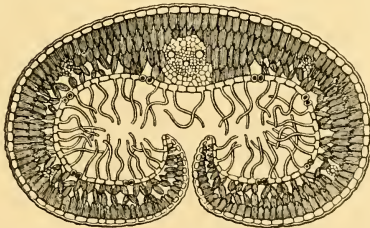


Fig. 21. Rollblatt von *Tylanthus ericoides* ( $\frac{130}{1}$ ) nach Kerner.

palustre, *Empetrum nigrum*, *Oxycoccus palustris*, *Tylanthus ericoides* (Fig. 21, eine Rhamnacee des Kaplandes) der Fall ist, entsteht auf der Blattunterseite ein windstiller Raum und damit ein Transpirationsschutz.

### 13. Intrapetiolare Knospenbildung; Nebenblätter.

Eine besondere Schutzeinrichtung gegen starken Wasserverlust ist die intrapetiolare Knospenbildung bei *Philadelphus*,

Platanus etc., auf die zuerst Wiesner (242) aufmerksam gemacht hat. Nach demselben Autor sind auch die Terminalknospen vieler Acerarten in ähnlicher Weise vor Austrocknung geschützt, da hier die Knospe durch den Blattgrund der beiden obersten Blätter lange Zeit vollständig überdeckt bleibt. Auch die „Nebenblätter“ (stipulae) schützen vielfach die jungen, zarten, aus der Knospe hervorbrechenden Laubblätter vor zu großem Wasserverlust. Interessant ist diesbezüglich *Liriodendron tulipifera*, bei dem je zwei verhältnismäßig große, schalenförmige Nebenblätter so aneinander gelegt sind, daß sie eine Blase darstellen. Das Laubblatt wächst dort, sagt Kerner, wie in einem kleinen Gewächshause allmählich aus, und wenn die Hautzellen so weit verdickt sind, daß die Gefahr des Vertrocknens abgewendet ist, dann treten die beiden schalenförmigen Nebenblätter auseinander und fallen schließlich ab.

#### 14. Polsterwuchs.

Für eine ziemliche Anzahl hochalpiner Pflanzen, wie *Eritrichium nanum*, *Androsace helvetica*, *Cherleria sedoides*, *Silene acaulis*, verschiedene *Saxifraga* ist sogenannter Polsterwuchs charakteristisch. Derselbe bietet nach Schinz folgende Vorteile: 1. die Transpirationsorgane sind vor der austrocknenden Wirkung des Windes geschützt; 2. wird die direkte Bestrahlung des Bodens geschwächt und damit dessen rasches Austrocknen verhindert; 3. der Polsterwuchs vermag gleich einem Schwamme das Wasser aufzusaugen und lange zurückzuhalten. Das Zusammendrängen der Vegetationsorgane zu einem kugelförmigem Haufwerk, wie es bei *Zilla myagroides*, *Astragalus Forsteri* etc. (nach Volkens) vorkommt, ist für diese xerophilen Pflanzen von Vorteil, da sich die Blätter in den Sonnenstrahlen gegenseitig vielfach bedecken und beschatten. Auf dieses Schutzmittel gegen Dürre bei Wüstenpflanzen hat zuerst Ascherson (Botan. Ztg. 1874, p. 612) hingewiesen.

#### 15. Kurze Vegetationszeit.

Ein eminenter biologischer Vorteil für solche annuelle Pflanzen, die eine längere Periode großer Hitze und Dürre nicht zu überdauern vermögen, liegt in der Beschleunigung der Entwicklungsdauer von der Samenkeimung bis zur Fruchtreife. Volkens (232) führt zahlreiche Wüstenpflanzen an, die ihre ganze Entwicklung in 1—2 Monaten absolvieren: *Anastatica hierochuntica*, *Calendula*



aegyptica, *Erodium laciniatum*, *Herniaria hemistemon*, *Mathiola livida*, *Medicago Aschersoniana*, *Silene linearis*, *Stipa tortilis*, *Trigonella stellata* etc. Auch bei verschiedenen Zwiebelgewächsen, wie *Urginea undulata*, *Pancratium Sickenbergi*, *Allium Cramerii* und *desertorum* ist die Vegetationszeit der oberirdischen Teile jedesmal von kurzer Dauer.

Sehr lehrreich für die Beziehungen ganzer Florengebiete zur Transpiration der Pflanzen, sagt Kerner, ist auch die regelmäßige Entwicklung bestimmter Pflanzenformen. In den Steppen, in den mittelländischen Landschaften und im Kaplande kommen zuerst die Zwiebelpflanzen und die Annuellen an die Reihe, dann folgen die ausdauernden Gräser und die Holzpflanzen und den Schluß bilden Fettpflanzen und dicht behaarte Immortellen.

## B. Einrichtungen für die Wasserversorgung der Pflanze.

### 1. Tiefgehende Wurzeln.

Tiefes Eindringen der Wurzeln in den Boden ermöglicht es einer Reihe von Wüstenpflanzen noch Wasser zu erhalten, trotzdem die von der Sonne durchglühten oberen Bodenschichten fast vollständig ausgetrocknet sind. Beispielsweise gibt Volkens an, daß bei *Calligonum comosum* die Wurzellänge die Höhe der oberirdischen Teile gewiß um das zwanzigfache übertrifft; Keimlinge von *Monsonia nivea* hatten schon Ende Januar, wo sie aus einer kaum nagelgroßen Rosette von 3—4 Blättchen bestanden, Wurzeln von über 50 cm Länge. Die außergewöhnliche Wurzellänge der Coloquinthe, deren zarte Blätter an abgerissenen Zweigen ungemein rasch welken, ermöglichen es dieser Wüstenpflanze, den ganzen Sommer hindurch zu vegetieren und kindskopfgroße, vollsaftige Früchte zu erzeugen. Nach Holtermann besitzen die Charakterbäume der wüstenartigen Gegenden Nordceylons (*Cassia fistula*, *Thespesia populnea*, *Azadirachta indica*, *Phyllanthus Niruri*) sehr tief gehende, manche auch, wie z. B. *Alstroemia scholaris*, ungemein lange Wurzeln.

Daß sich insolierter Wüstensand stark erhitzt, ist bekannt. A. Douglas (zit. von Mac Dougal Nr. 376) beobachtete in Arizona (grand canyon) eine Temperatur des Sandbodens von 64,5° C in der Umgebung der Wurzeln krautiger Pflanzen.

Es ist klar, daß für die Wasserversorgung solcher Gewächse, welche in Gegenden leben, in denen die oberen Bodenschichten einen größeren Teil des Jahres gefroren sind, eine reiche und tiefgehende

Wurzelbildung von Vorteil ist; wir wissen auch, daß dies bei vielen Pflanzen der hochalpinen und hochnordischen Flora zutrifft.

## 2. Wasserspeichernde Gewebe.

Die vegetativen Organe vieler Pflanzen trockener, felsiger Standorte enthalten Zellkomplexe, welche die Fähigkeit besitzen, Wasser zu speichern und dieses in Zeiten mangelnder Wasserzufuhr an die assimilierenden Zellen abzugeben. Aber auch Tropenpflanzen feuchter Standorte, die bei großer Laubblattfläche (Scitamineen, Aroideen, Palmen) bei direkter Besonnung große Wassermengen verlieren, wird ein „Wassergewebe“ von Nutzen sein. Die nähere Kenntnis solcher Gewebe, deren physiologische Bedeutung zuerst Pfitzer (Jahrb. f. wissensch. Bot. VIII, p. 16) an tropischen Epiphyten und Felsbewohnern erkannt hat, verdanken wir insbesondere den Studien des genannten Forschers, sowie jenen von Westermaier (Jahrb. f. wissensch. Bot. XIV, p. 41), von Volkens und Johow.

Der Lage nach kann man äußere und innere Wassergewebe unterscheiden. Im ersteren Falle ist es die Epidermis oder eine hypodermatische Schicht, im letzteren Falle ein im Inneren des Blattes resp. des Achsenteiles liegendes, aus großen, dünnwandigen, lebenden Parenchymzellen bestehendes Gewebe, welches als Wasserhalter fungiert. Für beide Anordnungstypen ist die unmittelbare Nachbarschaft des Assimilationssystems charakteristisch. Die quantitative Ausbildung dieser Wasserreservoirs bewegt sich bei verschiedenen Pflanzen innerhalb weiter Grenzen, denn wir finden alle Übergangsstufen von jenen Fällen, in denen sich Oberhautzellen durch größere Höhe und wässrigen Inhalt als Wasserspeicher erweisen, bis zu jenem mächtig entwickelten Wassergewebe, demgegenüber das Assimilationsparenchym in Form dünner Lamellen auftritt. Auch bei derselben Pflanzenart bedingen die Feuchtigkeitsverhältnisse des Standortes die Ausbildungsweise dieses Gewebes, wofür Holtermann ein instruktives Beispiel anführt. Die auf Ceylon lebende *Cyanotis zeylanica* hat am natürlichen, feuchten und schattenreichen Standorte im Walde dünne Blätter mit einem sehr schwach entwickelten Wassergewebe; Exemplare dieser Pflanze, die der Autor an einem trockenen, schattenarmen Platze im botanischen Garten zu Paradeniya erzog, entwickelten dicke, sukkulente Blätter mit einem Wassergewebe, das  $\frac{4}{5}$  der Blattdicke maß. In den Laubblättern tropischer Pflanzen trockener Standorte erreicht nach Johow (208)

die Epidermis bisweilen eine solche Mächtigkeit, daß sie dem Assimilationsgewebe an Stärke gleichkommt oder es sogar übertrifft (*Coccoloba uvifera*, *Byrsonima crassifolia*); in anderen Fällen, z. B. bei *Anona squamosa*, *Crescentia Cujete*, *Artanthe Schrademeyeri* besteht die Oberhaut der Blattoberseite aus langen, senkrecht zur Oberfläche gestreckten Zellen, „welche geradezu ein Pallisadengewebe bilden“; bei der letztgenannten Pflanze wird die Epidermis an solchen Blättern, welche an sehr sonnigen Standorten erwachsen sind, sogar mehrschichtig. Eine typisch mehrschichtige Oberhaut tritt bei verschiedenen *Ficus*- und *Peperomia*arten auf; wieder in anderen Fällen (verschiedene *Bromeliaceen*, *Comelynecen*, *Scitamineen*) wird die Oberhaut durch ein mächtiges, wässrigen Saft führendes Hypoderma verstärkt.

Bei den Pflanzen der ägyptisch-arabischen Wüste sind es nach Volkens in der Regel blasenähnliche Ausstülpungen vereinzelter Epidermiszellen (Fig. 22), die als Wasserhälter

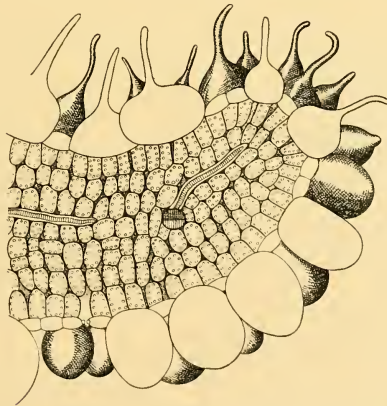


Fig. 22. Querschnitt durch den Blattrand von *Mesembryanthemum crystallinum* (vergr. 30) (nach Volkens).

fungieren. Die Flüssigkeitsmenge, welche auf diese Weise bei *Mesembryanthemum crystallinum*, *Forskali*, *nodiflorum* u. a. gespeichert werden kann, ist vielfach größer als das Volum des gesamten Mesophylls. Die Epidermisblasen mehrerer *Atriplex*arten (*A. Halimus*, *leucocladum*) qualifizieren sich nach Volkens als Trichome. Ist der wässrige Inhalt der Blasen aufgebraucht, so fallen ihre dünnen Wandungen zusammen, verkleben miteinander und bilden so über

die eigentliche Epidermis eine, die gesamte Blattdicke oft an Mächtigkeit übertreffende pergamentartige Decke, die einen vortrefflichen Schutz gegen Wasserverlust bildet. Dadurch erweisen sich diese Speicherhaare nach zwei Richtungen als vorteilhaft: so lange sie saftig sind, dienen sie der Wasserversorgung der inneren Gewebe; im vertrockneten Zustande als Transpirationsschutz. Schon Hagen (Untersuchungen über die Anatomie der Mesembryanthemen, Inaug.-Diss. Bonn 1873) hat sich dahin ausgesprochen, daß die Trichome der Mesembryanthemen dazu dienen, die Verdunstung zu beschränken; sie sind hierzu nach diesem Autor nicht nur dadurch geeignet, daß sie durch Bedeckung der anderen Epidermiszellen die direkte Berührung derselben mit der Luft verhindern, sondern auch wegen ihrer dicken Zellhaut und wegen ihres schleimreichen Zellsaftes. Hagen schnitt von *Mesembryanthemum crystallinum* und von *M. edule* je einen Ast ab und ließ beide nebeneinander in einem Zimmer liegen; *M. crystallinum* war nach acht Tagen noch ziemlich frisch, während *M. edule*, das keine solche Wassertrichome hat, sehr schnell welkte. Es ist nicht daran zu zweifeln, daß die papillenförmigen Ausstülpungen der Epidermiszellen, wie sie bei *Mesembryanthemum crystallinum* und in schwächerer Ausbildung z. B. bei *M. candens*, *echinatum*, *hispidum stelligerum*, *hirtella* etc. vorkommen, die Transpiration retardieren; bedeutungsvoller scheinen sie mir aber dadurch zu sein, daß sie — um mit Volkens zu sprechen — als Wasserbehälter fungieren.

Zur Wasserversorgung dienen offenbar auch die von Pfitzer (Jahrb. f. wissenschaftl. Bot. VII Bd. 1869, p. 70) als Schutzzellen bezeichneten, stark verdickten, chlorophyllfreien, wässrigen Saft führenden Zellen, welche nach diesem Autor die Atemhöhlen kapensischer Restionaceen, Arten von *Elegia*, *Restio*, *Thamnochortus*, *Willdenowia*, *Hypoleuca*) auskleiden.

Bei verschiedenen Xerophyten sind Epidermiszellen mit Schleim ausgefüllt. Diesen Schleimzellen hat Westermeier (Jahrb. f. wissensch. Botan. Bd. XIV) hypotetisch, später Volkens (215) in bestimmterer Form das Vermögen zugesprochen, Wasser zu speichern und es in Zeiten der Not benachbarten Zellen abzugeben. Auf Grund experimenteller Beobachtungen jedoch, die Volkens später gemacht hat, kann von einer Wasserabgabe dieser Schleimzellen zugunsten anderer, durch Wassernot gefährdeter Zellen wohl nicht die Rede sein.

Kommt außer einer wasserspeichernden Oberhaut noch ein inneres Wassergewebe vor, so ist letzteres in der Regel derart gelagert, daß sich das Assimilationssystem zwischen dem epidermalen (peripheren) und dem inneren (zentralen)

Wassergewebe in Form eines ringsum geschlossenen Mantels einschleibt. Als Beispiele führt Volkens *Salsola longifolia*, *Halogeton alopecuroides*, *Traganum nudatum*, *Cornulaca monacantha*, *Anabasis setifera*, *Zygophyllum simplex* an. Bei *Nitraria retusa*, aus der Familie der Zygophylleen, sieht man nach Volkens im Mesophyll der dicken Blätter auf entsprechenden Schnitten in einer Zone zwischen der Epidermis und der medianen Ebene, in welcher die Bündel verlaufen, einzelne, oder zu zweien vereinigte, zartwandige Idioblasten (Fig. 23) von Pallisadenzellen umgeben. Im turgeszenten Zustand zur Kugelgestalt aufgetrieben, zeigen sie einen farblosen, klaren Inhalt. Bei beginnendem Wassermangel des Blattes zeigte sich dieser zuerst bei diesen Wasserspeicherzellen; erst später, wenn die Austrocknung einen gewissen Grad erreicht hat, macht sich die Turgorverminderung auch in den Assimilationszellen geltend. Erneuerte Wasserzufuhr bedingt das sofortige Aufschwellen der Idioblasten zur früheren Kugelgestalt.

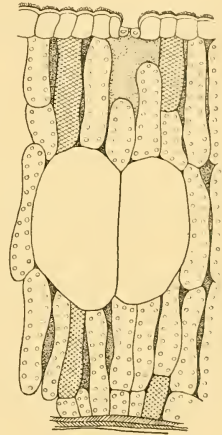


Fig. 23. Zwei idioblastische Wasserspeicherzellen im Mesophyll von *Nitraria retusa* nach Volkens. (In den schraffierten Zellen Gerbstoff; Vergr. 140).

Da bei Pflanzen xerophiler Standorte, die entweder keine oder nur wenige und kleine Blätter entwickeln, das Assimilationssystem in der Stengelrinde auftritt, so kann es nicht auffallen, daß mit diesem unter Umständen auch dort ein wasserspeicherndes Gewebe zur Ausbildung gelangt: *Alhagi manniferum*, *Polycarpacea fragilis*, *Tamarix manifera*, *Reaumuria hirtella*, *Anabasis articulata* u. a.

Die biologische Bedeutung der Wassergewebe wurde, wie bereits gesagt, zuerst von Pfitzer erkannt; experimentelle Behandlung hat dieser Gegenstand durch Westermaier erfahren. Von diesem Autor wurden namentlich drei Punkte festgestellt, die für die Physiologie der epidermalen Wassergewebe von besonderer Wichtigkeit sind, und die ich, Haberlandt's physiologischer Pflanzenanatomie folgend, nachstehend anführe: 1. Beim allmählichen Austrocknen eines mit einem Wassergewebe versehenen Laubblattes macht sich die Erscheinung des Wasserverlustes am frühesten in dem bezeichneten Gewebe geltend. Die Wassergewebszellen kollabieren in auffälliger

Weise, während das Assimilationsgewebe noch keine merklichen Spuren des Wasserverlustes zeigt. 2. Bei eintretendem Wasserverluste kollabieren die Zellen des Wassergewebes, indem ihre dünnen Radialwände wellig verbogen werden; hierdurch wird verhindert, daß an die Stelle des Wassers Luft in die Zellen tritt. 3. Bei erneuerter Wasserzufuhr saugt sich das kollabierte Gewebe in kurzer Zeit wieder voll und die verbogenen Radialwände werden durch den Druck des in den Zellen sich speichernden Wassers gerade gestreckt.

Auch durch die „Strebezellen“ und „Strebewände“ wird das Kollabieren der inneren, der Assimilation dienenden Zellen beim Austrocknen des Blattes aufgehalten.

Das Wassergewebe vieler Pflanzen der ägyptisch-arabischen Wüste zeichnet sich nach Volkens durch einen „besonders hohen Salzgehalt“ aus, durch den die Transpiration der Wasserzellen herabgedrückt und auch deren Saugkraft gesteigert wird. Man sollte glauben, daß eher das Wassergewebe infolge seines Salzgehaltes Wasser den protoplasmareichen Assimilationszellen entzieht, als daß es solches an diese im Bedarfsfalle abgebe. Da aber die Beobachtung lehrt, daß bei gleichzeitigem Vorhandensein beider Gewebe sich die Spuren einer Austrocknung an den chlorophyllhaltigen Zellen später einstellen als an den farblosen, so muß man folgern, daß die osmotische Kraft der Assimilationszellen größer ist als die der Wasserspeicherzellen. Letzteren wieder liefert Wasser das Leitungssystem, das mit dem Wassergewebe direkt in Verbindung steht. Bemerkenswert ist, daß der der Vertrocknung am meisten ausgesetzte Blatt- rand bei verschiedenen Pflanzen mit einem ein- bis mehrschichtigen Wassergewebe versehen ist, während in den übrigen Teilen der Blattlamina das Wassergewebe fehlt oder viel schwächer entwickelt ist. Beispiele bei Hinz.

Für die Wasserspeicherung und Wasserversorgung der assimilierenden Mesophyllzellen dienen auch jene Bildungen, welche Vesque (Ann. sc. nat. Bot. 6. sér. 1882) bei einer Reihe von Capparis-Arten als „reservoirs vasiformes“, Heinricher (Botan. Zentralbl. Bd. XXIII 1885) bei verschiedenen Centaurea-Arten, bei *Astrolobium repandum* und anderen Pflanzen als „Speicher Tracheiden“ beschrieben hat. Dieselben entstehen nach den Untersuchungen Heinricher's durch Umwandlung von Parenchymseidenzellen oder auch anderer Mesophyllzellen in Tracheiden bzw. in tracheidenähnliche, weitlumige Zellen. Beide Autoren, wie auch Scheit (Bot Zeitg. 1884) und Volkens schreiben diesen Bildungen die Funktion der Wasserspeicherung zu. Die Berechtigung dieser Auffassung ergibt sich einer-

seits aus dem Bau dieser eigentümlichen, tracheidenähnlichen Zellen, andererseits aus den Standortsverhältnissen der betreffenden Pflanzen, die vorwiegend intensiv besonntes, sandiges oder felsiges Terrain, Wüstenstriche u. dgl. bewohnen.

In besonderen Fällen werden Interzellularen als Wasserreservoir verwendet, wie Schimper (die epiphytische Vegetation Amerikas, Jena, 1888) bei *Philodendron canniifolium* beobachtet hat. Die großen Interzellularen in den spindelförmig angeschwollenen Blattstielen dieser epiphytischen Aroidee sind bei feuchtem Wetter zum großen Teil von schleimigem Wasser erfüllt, das bei eintretendem Wassermangel der Blattspreite zugute kommt.

Bei vielen epiphytischen Orchideen, wie an zahlreichen Arten von *Catasetum*, *Cattleya*, *Coelogyne*, *Epidendron*, *Laelia*, *Lycaste*, *Maxillaria*, *Odontoglossum* erfolgt die Wasserspeicherung in den *Pseudobulben*. Verschiedene Rubiaceen, Vaccineen, Melastomaceen Gesneraceen sind mit knolligen Wasserbehältern ausgerüstet.

Es ist bekannt, daß unterirdische Kaulome, insbesondere Knollen und Zwiebeln nicht nur Reservestoffe, sondern auch Wasser magaziniert haben, welches sie während der Vegetationszeit zurückhalten (der häufig vorkommende Schleimgehalt dürfte dabei eine Rolle spielen) und welches später den sich entwickelnden Sprossen zugute kommt. Auffallend in dieser Richtung sind besonders die sog. Trockenblüher, wie z. B. *Sauromatum guttatum*, *Biarum eximium* und andere Aroideen, die ohne jede äußere Wasserzufuhr aus dem nackten Knollen einen ansehnlichen Blütenstand zu entwickeln vermögen. Dieser Wasservorrat in den Knollen und Zwiebeln gibt verschiedenen Wüstenpflanzen (Beispiele bei *Volkens*) die Möglichkeit, Blätter auszubilden, noch bevor die ersten Regen gefallen sind.

Bei xerophilen Erodien sind nach den Beobachtungen von *Volkens* die Wurzeln streckenweise zu kartoffelartigen (*E. hirsutum*) oder zu fingerförmigen (*E. arborescens*) oder zu langspindelförmigen (*E. glaucophyllum*) Knollen angeschwollen, die dadurch entstehen, daß die Parenchymzellen der Rinde lokal eine außerordentliche Vermehrung erfahren. Ihrer physiologischen Bedeutung nach sind sie „zwischen den absorbierenden und transpirierenden Teilen eingeschaltete Speicherorgane für Wasser“. Wasserreservoir innerhalb der Wurzeln sind auch von *Tschirch* für einige Bewohner des australischen Scrub beschrieben worden, wie z. B. für *Eucalyptus dumosus*, *Hakea stricta* u. *H. uliginosa*.

Auch der mächtige Holzkörper großer Bäume bildet ein Wasserreservoir; enthält doch lebendes Splintholz bis 70 Proz.

Wasser und darüber. Tritt bei längerer Trockenperiode Wassermangel im Boden ein, so kann ein Teil des Wasservorrates im Holzkörper zur Deckung des Defizites in den Blättern herangezogen werden. Die Massenentfaltung des Holzes in den Bäumen, schreibt Scheit (Botan. Ztg. 1884, S. 186) würde unter Berücksichtigung der mechanischen Prinzipien allein als eine Verschwendung erscheinen; sie wird aber erklärlich, wenn man im Holzkörper ein Wasserreservoir sucht. Wir wissen auch hauptsächlich auf Grund der Untersuchungen von R. Hartig, daß das Holz gegen den Herbst das Minimum des Wassergehaltes aufweist.

### 3. Déplacement des Wassers.

Zu den Einrichtungen, die es den Sukkulenten und den Halbsukkulenten ermöglichen, längere Trockenperioden schadlos zu überdauern, gehört die Erscheinung, daß bei längerem Wassermangel wegen Bodentrockenheit die jüngeren Blätter (und Terminalteile) Wasser den älteren Blättern entziehen. Infolge dieses ökologisch bedeutungsvollen „Déplacement des Wassers“ auf welches, wie ich glaube, zuerst Meschajeff aufmerksam gemacht hat, welken und vertrocknen bei wochenlangener, sistierter Wurzeltätigkeit die älteren, unteren Blätter, teils infolge eigener Transpiration, teils wegen Wasserabgabe an die jüngeren Blätter, während sich gleichzeitig der Terminalteil nicht nur lebend erhält, sondern sich sogar langsam weiter entwickeln kann. Interessant ist die Tatsache, daß mit zunehmendem Alter solcher Blätter häufig die Blattdicke infolge Streckung der Zellen des Wassergewebes beträchtlich zunimmt, wie dies Schimper (bei epiphytischen Peperomien und Gesneraceen) und Haberlandt beobachtet haben. So fand z. B. der zweitgenannte Autor (in der Nähe von Batavia) die Blattdicke von *Rhizophora mucronata* a) bei einem ausgewachsenen grünem, b) bei einem alternden „gelbgrünen“ Blatte in Mikromillimetern:

Assimilationsgewebe (inkl. untere Epidermis) a)	426	b)	426
Wassergewebe (inkl. obere Epidermis)	. . . . .	355	1037
Blattdicke	. . . . .	781	1463

Beide Autoren haben experimentell gezeigt, daß die alternden Blätter solcher Pflanzen Wasserreservoir für die jungen, gut assimilationsfähigen Blätter bilden. Läßt man nach Haberlandt einen abgeschnittenen Zweig von *Rhizophora mucronata* ohne Wasserzufuhr transpirieren, so beobachtet man, daß nach einigen Tagen die älteren, vergilbten Blätter bedeutend geschrumpft sind, während die übrigen Blattpaare (mit Ausnahme der jüngsten) kaum merklich erschlafft sind.



Ich führe aus meinen Erfahrungen auch einen Fall an. Eine Topfpflanze von *Gasteria vittata* mit sechs Paaren gegenständiger Blätter wurde am 15. April an einem der Sonne vollkommen zugänglichen Südfenster aufgestellt und blieb dort ohne Arrosion stehen; Mitte Mai war die Erde vollkommen ausgetrocknet. Am 27. Juni wurden die Blätter auf einer Seite des Stockes abgelöst und gewogen. Hierauf wurde die Topferde täglich reichlich begossen und am 15. Juli wurden die sechs Blätter der anderen Seite, die mittlererweile wieder vollkommen turgeszent geworden waren, abgetrennt und gewogen. Schließlich wurde von allen Blättern das Trockensubstanzgewicht bestimmt; aus diesem konnten die prozentischen Wassergehalte berechnet werden. Es betrug hierbei a) der Wassergehalt der vollsaftigen Blätter, b) jener der durstenden Blätter, c) die Abnahme des prozentischen Wassergehaltes vom untersten (ältesten) angefangen:

- |    |       |       |       |       |       |      |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| a) | 86,3, | 90,3, | 90,8, | 91,1, | 91,3, | 93,4 |
| b) | 78,6, | 82,8, | 83,7, | 84,9, | 86,0, | 91,8 |
| c) | 7,7,  | 7,5,  | 7,1,  | 6,2,  | 5,3,  | 1,6  |

Trotzdem die älteren Blätter — auf gleiches Lebendgewicht bezogen — wahrscheinlich weniger Wasser durch Transpiration verloren haben als die jüngeren (bei Arten von *Echeveria*, *Aloe* und *Agave* haben nach meinen Beobachtungen die älteren Blätter ein geringeres Evaporationsvermögen als die jüngeren) sank ihr Wassergehalt während der Durstperiode um 7,7 Proz., der der jüngsten — offenbar infolge von Wasserdisplacement um nur 1,6 Proz.

Es sei bei dieser Gelegenheit auf die hohe Temperatursteigerung hingewiesen, die sukkulente Gewächse durch Insolation erfahren. Zuerst konstatierte Barthélemy an einem in eine *Opuntia brasiliensis* gepfropften Thermometer nach einstündiger Sonnenexposition eine Temperatur von 38° C, während gleichzeitig das daneben in freier Luft befindliche Instrument 25° zeigte. Askenasy (Botan. Ztg. 1875, S. 441) fand an Semperviven des Botanischen Gartens in Heidelberg Temperaturen im Blattinneren bis nahe an 50° C, während das nebenstehende Thermometer in der Luft nur 31° zeigte; Nichtsukkulente hatten eine viel geringere Temperatursteigerung. MacDougal (376) beobachtete an einem in einer *Opuntia* (*Engelmanni*?) gepfropften Thermometer in der Nachmittagssonne eines Julitages eine Erhitzung bis auf 45 Grad, während die Luftwärme in der Umgebung der Pflanze 34—38° C betrug und Kerber (Verh. Botan. Verein Prov. Brandenburg 1883, S. 10) versichert, in Kakteen des mexikanischen Hochlandes, die während der trockenen Jahreszeit dem nackten Felsen

keinerlei Feuchtigkeit entziehen können, bei direkter Insolation Temperaturen von 50° C und darüber (schon kritisch) gemessen zu haben. Diese große Wärmesteigerung und Wärmebewahrung der Sukkulenten schreibt Askénasy hauptsächlich dem Umstande zu, daß bei diesen Pflanzen infolge der sehr schwachen Transpiration der durch Wasserverdunstung bewirkte Wärmeverlust gering ist; ebenso auch der Wärmeentzug durch Ausstrahlung infolge der geringen Oberflächenentwicklung.

#### 4. Aufnahme von Regen und Tau durch die Oberfläche der Blätter und Zweige.

Zur Wasserversorgung der Pflanze trägt auch die Aufnahmefähigkeit der Blätter und Internodien von Tau- und Regenwasser bei. Im allgemeinen ist zwar der auf diese Weise gewonnene Zuschuß an Wasser nicht ausgiebig; doch kann er unter Umständen von größerem physiologischem Werte sein.

Lundström (Über die Anpassung der Pflanzen an Regen und Tau; Upsala 1884) hat viele Beobachtungen, Behauptungen und Bemerkungen über Einrichtung oberirdischer Teile mittel- und nordeuropäischer Pflanzen zum Aufsaugen, Ableiten, Festhalten und Aufsaugen von Tau und Regenwasser veröffentlicht. Wasseraufsaugende Organe sind selbstverständlich hauptsächlich die Spreiten der Laubblätter; leitend sind nach der Ansicht Lundström's vorzugsweise die an Blattstielen und Internodien vorkommenden Haarränder, ferner eingesenkte Blattnerven, Blattstielrinnen etc. Festgehalten wird das Wasser in Blattachsen, Blattscheiden, Blatteinsenkungen, ferner an Blattzähnen, Haarrändern, Haarbüscheln. „Absorbierend sind in stärkerem oder minderem Grade alle das Wasser festhaltenden Teile, falls sie benetzbar und ihre Membranen permeabel sind.“ Liest man Lundström's umfangreiche Abhandlung aufmerksam durch, so findet man, daß der Verf. bei vielen seiner Behauptungen den experimentellen Beweis schuldig blieb und daß die Darstellung vielfach als eine oberflächliche bezeichnet werden muß.

Der Umstand, daß die von Lundström besprochenen Pflanzen zum größten Teile in gemäßigten, nicht regenarmen Klimaten heimisch sind und einen gut entwickelten Wurzelkörper besitzen, so nach auf die Einnahme oberirdischer Organe nicht angewiesen sind, veranlaßte Kny zu Versuchen, durch die bei verschiedenen, von Lundström besonders hervorgehobenen Pflanzen festgestellt werden

sollte, wie viel das durch die Oberfläche der Blätter aufgenommene Wasserquantum im Vergleich zu dem durch die Gefäßbündel von unten zugeführten bei der Wiederherstellung der normalen Stellung und des Turgors welcher Sprosse oder Blätter bildet. Hierbei zeigte es sich durchwegs, daß die Wasseraufnahme durch die Oberhaut der Blätter und Internodien — auch solcher Pflanzen, die nach Lundström in ausgesprochener Weise an die Wasseraufnahme durch oberirdische Teile angepaßt sein sollen — verschwindend klein war gegenüber der Suktion durch die Schnittfläche der Blattstiele und der Internodien. Auch Warming (Tageblatt der 59. Vers. deutscher Naturf. und Ärzte in Berlin 1886) konnte die Korrektheit der Lundström'schen Beobachtungen und Behauptungen, soweit er Gelegenheit hatte, sie zu kontrollieren, nicht bestätigen. Ebenso ist Wille (Beiträge zur Biologie der Pflanzen, herausgegeben von F. Cohn, 4. Bd. 1887) in einer scharfen Kritik gegen Lundström aufgetreten. Wille's Experimente mit einprozentigen Lösungen von Lithiumchlorat ergaben, daß selbst bei Lundström's „besten Exempeln“ (*Stellaria*, *Melampyrum*, *Fraxinus* etc.) die Aufnahme der Lösung an den Stellen „der Ansammlung und Aufnahme des Regenwassers“, im Vergleich zu dem durch die Wurzeln aufgenommenen Quantum so minimal war, daß von einer „Anpassung“ an die Aufnahme atmosphärischer Niederschläge keine Rede sein kann. Ferner zeigte Wille, daß diese minimen Wassermengen auch an anderen, von Lundström nicht besonders bezeichneten Stellen der oberirdischen Teile in das Innere der Pflanze eintreten können.

Auf die experimentell begründeten Einwände Kny's reagierte Lundström mit einer Berichtigung und mit einer Antikritik. Lundström's „Berichtigende“ enthält weder etwas wesentlich Neues noch irgend ein Argument gegen die Richtigkeit der Untersuchungen Kny's und die aus denselben gezogenen Schlüsse. In einem „antikritischen Vortrag“ (Bot. Zentralblatt 44. Bd. 1800, 45. Bd. 1891) teilt Lundström neue Versuche mit, aus denen hervorging, daß einheimische Pflanzen, wie z. B. *Trifolium*, *Stellaria* Wasser durch die Blattepidermis aufnehmen können, was weder jemand bestritten hat noch bestreiten wird, die aber nicht zeigen, daß diese Wassermenge so groß wäre, daß ihnen eine biologische Bedeutung zugeschrieben werden könnte. Das Schönste an der Sache aber ist, daß Lundström bei *Stellaria media* (welcher er in seiner Hauptabhandlung 7,5 Quartseiten widmet) an eine biologisch nur halbwegs bedeutungsvolle direkte Wasseraufnahme durch die oberirdischen Organe selbst nicht glaubt. Da die in der Natur wachsenden Individuen bei Regen

ihren Turgor wieder erhalten und vermehren, sagt dieser Autor, geschieht dies hauptsächlich durch das aus dem Boden aufgenommene Wasser und infolge der verminderten Transpiration, die während des Regens statthat.

Zwischen Lundström und Wille bestand ein siebenjähriger Federkrieg. Zuerst hat Lundström seine Abhandlung über „Die Anpassung der Pflanzen an Regen und Tau“ (Upsala 1884) publiziert. Darauf hat Wille eine Gegenbeantwortung: „Kritische Studien“ etc. (in Cohn's Beiträgen, 4. Bd. 1887) veröffentlicht. Auf diese Schrift gab Lundström eine umfangreiche Replik (in Bot. Notiser, Lund 1889), auf die Wille mit einer Duplik (Bot. Notiser 1890) reagierte; auf letztere folgte wieder eine Entgegnung seitens Lundström's (Bot. Notiser 1890), die Wille nicht mehr beantwortete. Nun ließ Lundström eine rektifizierte Auflage seiner früheren Antikritik (ex Bot. Notiser 1889) im Botanischen Zentralblatt (45. Bd. 1891) abdrucken. Darauf kam (a. a. O. p. 234) eine „Antwort“ von Wille und gleichzeitig eine „Erklärung“ von Warming.

Es ergibt sich, daß der Wasseraufnahme durch die Oberfläche der Laubblätter und Internodien bei den mittel- und nordeuropäischen Pflanzen und denen verwandter Florengebiete im allgemeinen nicht jene physiologische Bedeutung zukommt, die ihr Lundström zuschreiben will. Denn erstens wird durch den Regen in der Regel die schwach absorptionsfähige Oberseite der Blätter getroffen; auch die Taubildung erfolgt auf dieser Seite. Zweitens sind bei kurz andauerndem Regen die Blätter bald wieder trocken; bei längerem Regen wird aber dem Boden so reichlich Wasser zugeführt, daß eine Wasseraufnahme durch die oberirdischen Teile überflüssig erscheint. Was die Menge des auf den Blättern der Pflanzen gebildeten Tauwassers anbelangt, so scheint mir diese nicht immer eine so geringe zu sein, wie dies Sachs für einzelne Fälle durch Wägung ermittelt hat, da bekanntlich an kühlen Herbstmorgen unsere Wiesen etc. oft förmlich von Wasser triefen. Der Nutzen des nächtlichen Taus ist aber in erster Linie nicht in einer nennenswerten Wassereinnahmsquelle für die Pflanze, sondern in der Herabsetzung der Transpiration zu suchen. Dadurch kann die Pflanze einen Teil des bei Tage erlittenen Wasserverlustes aus dem Boden decken. Ist der Boden sehr trocken, so könnte eine ausgiebigere Einsaugung des Tauwassers der Pflanze bei einer kräftigen Sonnenbestrahlung am Morgen mehr schaden als nützen, da sich nach direkter Wasseraufnahme seitens der Blätter deren Transpiration erhöht (Wiesner).

Für manche einheimische Pflanzen scheint indes die direkte Wasseraufnahme durch oberirdische Teile von größerem Nutzen zu sein, wenn durch gewisse Einrichtungen größere Wassermengen angesammelt und absorbiert werden können. Die becken- und trog-

artigen Behälter, welche durch die dekussierten, den Stengel mit breit zusammengewachsener Basis umschließenden Blattpaare mehrerer *Dipsacus*-Arten gebildet werden, sind häufig mit Wasser gefüllt. Barthélemy (Compt. rend. de l'acad. des sc. Paris 87. Bd. 1878) zeigte, daß das Wasser in den „reservoirs hydrophores“ von *Dipsacus Fullonum* und *D. laciniatus* nicht ein Sekretionsprodukt, sondern Regenwasser ist und spricht die Ansicht aus, daß dieses von der Pflanze bei länger dauernder Trockenheit aufgenommen wird. Durch vergleichende Versuche wurde von Kny gezeigt, daß das aus den Blattrögen aufgenommene Wasserquantum im Verhältnis zu jenem, welches die Pflanze durch den Stengelquerschnitt aufzusaugen imstande ist, nicht bedeutend ist, aber immerhin so viel beträgt, daß die Blattröge als eine Anpassungseinrichtung an die Aufnahme von Tau- und Regenwasser angesprochen werden können, und daß die so aufgenommene Flüssigkeit hauptsächlich der Terminalknospe und den Blütenköpfen zugute kommt. Detmer (Journal für Landwirtschaft, herausgegeben von Heneberg & Drechsler, 27. Bd. Berlin 1879) sprach die Ansicht aus, daß ein Teil jenes Wassers, welches sich in den oft großen Blattscheiden von *Angelica*, *Heracleum*, *Silphium* und anderer Umbelliferen zeitweise ansammelt, in das Innere der Pflanze eintritt. Auch Borzi (307) hat die biologische Bedeutung der Wasseransammlung in den Vaginalteilen verschiedener Umbellaten und Caryophyllaceen in Betracht gezogen. Eine praktische Arbeitsteilung schreibt dieser Autor manchen Gramineen, z. B. *Phragmites communis* zu: das Wasser wird von der Lamina gesammelt, durch die Ligula filtriert und von der Blattscheide absorbiert.

Nach Versuchen von Kny (vgl. p. 75) können einjährige Zweige winterlich entlaubter Bäume während eines sehr trockenen Winters nicht unerhebliche Wassermengen durch Transpiration verlieren, während die Saftzuleitung vom Stamme her minimal ist. Da aber Kny gleichzeitig konstatiert hatte, daß solche Zweige imstande sind, tropfbarflüssiges Wasser von außen (die Schnittfläche ausgeschlossen) aufzunehmen, so hat diese Aufnahmefähigkeit für die Holzgewächse zurzeit eines Winterregens oder der Schneeschmelze einen physiologischen Nutzen.

Eine biologische Notwendigkeit ist die oberirdische Wasseraufnahme für die wurzellosen Epiphyten, über welche sich Duchartre (49) auf Grund ausgedehnter Experimentaluntersuchungen an *Tillandsia dianthoides* u. a. äußert: „Je regarde l'absorption de l'eau à l'état liquide comme nécessaire pour l'entretien de la vie et l'accroissement de toute cette curieuse catégorie de végétaux.“ An

den epiphytischen Bromeliaceen Westindiens hat diesbezüglich Schimper (Botan. Zentralbl. 17 Bd. 1884) viele Beobachtungen an Ort und Stelle gesammelt. Bekanntlich haben diese Gewächse schwach ausgebildete und früh absterbende Wurzeln; manche sind wurzellos, wie *Tillandsia usneoides*. Diese Pflanze ist mit einem dichten Überzug schuppiger Haare bedeckt, die ihr ein silbergraues Ansehen geben. Fällt ein Wassertropfen auf die Pflanze, so verschwindet er in wenigen Sekunden, indem er in die Kapillarräume zwischen den Schuppen eindringt und die Luft daselbst verdrängt. Die Schuppen haben aber die Fähigkeit, Wasser und in diesem gelöste Stoffe leicht aufzunehmen und den Blattgeweben zuzuführen. Die seitlich dicht anschließenden, löffelartigen Blattbasen vieler anderer Bromeliaceen enthalten während der trockenen Jahreszeit beinahe stets größere Mengen von Wasser sowie Fragmente organischer und unorganischer Stoffe. Daß hier wirklich eine ausgiebige Wasserabsorption durch die Blätter erfolgt, zeigte Schimper an *Brocchinia Plumieri*, *Caraguata lingulata* und *Guzmania tricolor*; diese Pflanzen welkten in wenigen Tagen, wurden aber stets nach wiederholtem Befeuchten der Blattbasen bei vollständigem Trockenbleiben der Wurzeln in höchstens vierundzwanzig Stunden wieder turgeszent. Bei einer anderen Reihe von Versuchen wurden bei den genannten und anderen Pflanzen, wie *Tillandsia fasciculata* und *gigantea* die abgestorbenen Wurzeln abgeschnitten und die Basis mit Kanadabalsam überzogen. Die nicht begossenen Exemplare welkten nach wenigen Tagen oder Wochen, während die begossenen monatelang frisch blieben. Wurden umgekehrt die Wurzeln frischer Pflanzen begossen, die Blätter aber unbenetzt gelassen, so welkten die Pflanzen schnell, erholten sich jedoch rasch nach Befeuchtung der Blätter.

Auch verschiedene Farne, wie z. B. Arten von *Polypodium* und *Asplenium*, die bei anhaltender Boden- und Lufttrockenheit ihre Wedel falten oder einrollen, nehmen bei Regenwetter sehr rasch durch ihre benetzbare Oberfläche Wasser auf und erhalten dadurch wieder die Stellung und Lage, welche sie vor der Trockenperiode hatten.

Nach Wiesner (Anat. u. Phys. der Pflanzen 3. Aufl. p. 250) können Sarracenieen monatelang dadurch frisch erhalten werden, daß man ihre Blattschläuche von Zeit zu Zeit mit Wasser füllt, ohne daß der Boden, in dem die Pflanzen wurzeln, begossen wird.

In der ägyptisch-arabischen Wüste bildet sich Tau vom Herbst bis zum Frühjahr fast allnächtlich und bisweilen sehr ausgiebig; auch im Sommer ist er gerade keine Seltenheit. Zahlreiche Wüstenpflanzen sind nun nach Volkens befähigt, dieses Wasser festzuhalten und

aufzunehmen. In allen Fällen sind es *Trichome*, welche die Wasserabsorption bewerkstelligen, jedoch niemals Safthaare (denen Lundström vorzugsweise die Wassereinsaugung zuschreibt) sondern ausnahmslos turgeszenzlose Haare, die nur an ihrer Ursprungsstelle eine oder mehrere dünnwandige, plasmareiche Basalzellen führen. In der besonderen Ausbildung dieser Trichome herrscht bei den in Betracht kommenden Pflanzen (Arten von *Stachys*, *Phagnalon*, *Pulicaria*, *Diplo-taxis*, *Heliotropium*, *Echinops* etc.) eine große Mannigfaltigkeit.

Meine Abhandlung: „Übersicht der Untersuchungen über die Wasseraufnahme der Pflanzen durch die Oberfläche der Blätter“ (Gymnasialprogramm, Wien II, 1891) enthält nebst eigenen Beobachtungen eine übersichtliche Zusammenstellung vieler Untersuchungen (74 Arbeiten die sich auf 55 Autoren verteilen) über den Gegenstand. Aus den zahlreichen Beobachtungen über die Wasserversorgung der Pflanze durch die Wasseraufnahme seitens der Oberfläche der Blätter kann bis jetzt als feststehend angenommen werden: 1. Die Blätter sind imstande, Wasser in liquider Form durch die Oberfläche von außen aufzunehmen. 2. Wasseraufnahme wurde konstatiert bei Blättern mit behaarter und mit haarloser, mit spaltöffnungsführender und mit spaltöffnungsfreier, dünn- und dickwandiger, schwach und stark kutikularisierter Epidermis. 3. Das Wasser kann durch Epidermiszellen, durch Haare und durch Spaltöffnungen oder andere „Hydathoden“ zu den inneren Geweben treten. 4. Die untere Blattepidermis saugt — wegen der schwächeren Kutikularisierung der Außenwände, der reichlicheren Haarbildung und der größeren Zahl von Spaltöffnungen — in der Regel stärker als die obere. 5. Die Größe und Schnelligkeit der Wasseraufnahme hängt nicht nur vom anatomischen Bau des Blattes, sondern auch von dessen jeweiligem relativem Wassergehalte ab. 6. Die Wassermengen, welche die Pflanzen an ihren natürlichen Standorten auf diesem Wege gewinnen, ist fast verschwindend klein gegenüber dem Quantum, welches den oberirdischen Teilen durch die Gefäßbündel des Stammes zugeht. Der Nutzen des nächtlichen Taus für die Erhöhung des Turgors liegt nicht so sehr in direkter Darbietung von Wasser als vielmehr in einer wirksamen Herabsetzung der Transpiration. 7. Im Dienste der Wasserversorgung der Pflanze stehen die löffelförmigen Blattbasen verschiedener Bromeliaceen, Blatttröge mancher Dipsaceen und die beckenförmigen Blattscheiden vieler Umbelliferen. Für zahlreiche Wüstenpflanzen hat die Aufnahme des Tauwassers, die durch turgeszenzlose Haare erfolgt, physiologische Bedeutung; die wurzellosen Epiphyten sind auf direkte Wasseraufnahme durch Stamm und Blätter angewiesen.

### 5. Kondensierung der Luftfeuchtigkeit durch Sekretion hygroscopischer Salze.

Nach Volkens (239) scheiden manche Wüstenpflanzen, wie *Reaumuria hirtella*, *Tamarix manifera* und *articulata*, *Frankenia pulverulenta* mittels epidermaler Drüsen ein hygroscopisches (hauptsächlich Chlornatrium enthaltendes) Salzgemisch aus, welches die Fähigkeit hat, den atmosphärischen Wasserdampf tropfbar flüssig niederzuschlagen und das so gebildete Wasser durch die oberirdischen Organe aufzunehmen. Wenn wir, sagt dieser Autor, während des Sommers in sehr vielen, während des Herbstes und Winters in allen Nächten die *Reaumuriabüsche* oft von Wasser förmlich triefend finden, in einer Umgebung, deren Signatur vollendete Dürre ist, so kann dieses Wasser kein von der Pflanze sezerniertes sein; es muß aus der Atmosphäre herrühren, es muß von den der Blattoberfläche anhaftenden Salzmassen hygroscopisch niedergeschlagen sein.

Schon der berühmte Afrikaforscher F. G. Rohlf's (von Volkens „Reisender“ tituliert), vermutete Wasseraufnahme bei der Tamariske und bei *Statice aphylla*. Von der erstgenannten Pflanze bemerkt Rohlf's, er habe in den Wüsten Tripolitaniens und Fezzans Bäume gesehen, die voll und kräftig wuchsen, die aber vielleicht seit Jahren ohne Regen zubrachten. Aber zugegeben, daß sie im Jahre ein oder zwei Regenschauer bekämen, so ist doch die Luft so trocken, daß der Boden noch an demselben Tage wahrnehmbar keine Feuchtigkeit mehr besitzt. „Die meisten *Tamarix*bäume müssen doch also die Fähigkeit besitzen, aus der so trockenen Luft noch Feuchtigkeit einzusaugen.“ Bezüglich der zweiten Pflanze macht Rohlf's in seinem Buche „Quer durch Afrika“ folgende Angabe: „Es wächst an der Stelle (Wüste von Misda in Tripolitaniens) viel *Gelgelan* (*Statice aphylla* nach Ascherson), die das Eigentümliche hat, daß sie sehr energisch Wasser aus der Luft anzieht; selbst wenn gar kein Tau fiel und andere Pflanzen völlig trocken sind, hängen morgens die Zweige des *Gelgelan* voll großer Wassertropfen: „Vielleicht ist es der starke Salzgehalt dieser Pflanze, der das Wasser anzieht“ — Tchihatchef (zit. von Volkens) erwähnt, daß die in der algerischen Sahara verbreiteten *Traganum*arten immer mit einer dicken Salzkruste bedeckt seien.

Volkens löste im November, später noch einmal im Mai zwei ungefähr gleiche Zweige (A, B) vom Stocke einer *Reaumuria hirtella*, entfernte von B die Salzbedeckung durch Klopfen, Schütteln etc. und legte beide, von direkter Sonnenbestrahlung geschützt, ins Freie.



B zeigte sich am folgenden Morgen schon völlig vertrocknet, A dagegen blieb in dem einen Falle 14, in dem anderen 8 Tage frisch, „es flossen ihm in jeder Nacht reichliche, noch in den ersten Morgenstunden als Tropfen anhaftende Wassermengen aus der Luft zu.“ Volken's spricht die Ansicht aus, der Protoplasmainhalt der Drüsenzellen müsse, solange bei genügender Durchfeuchtung des Bodens Sekretion stattfindet, einer ganz oder fast konzentrierten Salzlösung Durchtritt gewähren, später aber, wenn die Absorption alleinige Funktion der Drüsen wird, nur reines Wasser von außen nach innen passieren lassen. Marloth bestreitet einen derartigen Wechsel der Permeabilität des Drüsenprotoplasmas. Zunächst sei kein Grund für die Annahme vorhanden, daß die Drüsenzellen einer fast konzentrierten Salzlösung Durchtritt gewähren; die Salzlösung wird vielmehr erst außerhalb der Drüse mit jedem Tage konzentrierter. Weiter sei die Annahme von Volken's, daß sich die Drüsen beim Eintritt der trockenen Jahreszeit so verändern sollen, daß sie dieser konzentrierten Salzlösung reines Wasser zu entziehen und nach dem Inneren zu leiten vermöchten, hypothetisch. Für eine solche Kraft pflanzlicher Zellen sagt Marloth, fehlt bisher jeglicher Beweis. Nach Marloth ziehen *Reaumuria* u. a. aus der Salzkruste folgende Vorteile: 1. die weiße Farbe verringert die Insulationswirkung der Sonne; die poröse Salzschrift hält als schlechter Wärmeleiter die Einwirkung der umgebenden heißen Luft ab; 2. die während der Nacht von der Salzdecke aufgenommene Feuchtigkeit bewirkt, daß die Blätter am Morgen einige Zeitlang kühler bleiben als die sie umgebende Luft. Diese von Marloth angeführten Eigenschaften der Salzkruste sind für eine xerophile Pflanze insofern von Vorteil, als sie deren Transpiration vermindert; sie erklären jedoch nicht, wieso sich solche Gewächse bei monatelangem Regenmangel frisch erhalten. Man muß vielmehr annehmen, daß das sehr hygroskopische Salz auf den Blättern während der Nacht beträchtliche Taumengen kondensiert (was sich ja aus der reichlichen Tropfenbildung ergibt), und daß tatsächlich ein Teil dieses Wassers in das Innere der Pflanze eintritt. Wenn auch die Salzlösung wasseranziehend wirkt, so ist doch die endosmotische Kraft des Drüsenprotoplasmas dieser Pflanzen groß genug, um der Salzlösung Wasser zu entziehen und in das Innengewebe passieren zu lassen. Die Gewinnung von Wasser aus der Luftfeuchtigkeit durch oberflächliche Ablagerung hygroskopischer Salze ist in der Tat ein physiologisch interessanter Fall der Wasserversorgung von Wüstenpflanzen. —

## C. Diverses.

Es mögen noch einige für einzelne Pflanzen gewisser Florengebiete bekannt gewordenen Pflanzenschutzmittel mitgeteilt werden. Tschirch (181) sagt über die australischen Eukalypten: „Während die in den Gebirgsschluchten und in Wäldern angegebenen Arten: *Eucalyptus globulus*, *populifolia*, *colossea* eine nur wenig entwickelte Kutikularleiste und ein weitmaschiges Durchlüftungssystem besitzen, wird bei *Eucalyptus tereticornis*, *marginata* und *rostrata*, von denen die beiden letzteren an ausgetrockneten Bächen angetroffen werden, das Durchlüftungssystem erheblich eingeschränkt, das Blatt senkrecht gestellt, die Kutikularleiste an den Spaltöffnungen stark entwickelt. Die Arten endlich, die auf sandigem Boden oder gar in dem trockenen Scrubdickicht noch gedeihen, wie *E. dumosa* und *E. amygdalina*, besitzen einen enorm festen Bau, eng anschließendes Assimilationsgewebe, eine Kutikula, wie sie wohl selten angetroffen wird und Spaltöffnungen mit einem sehr erheblich vertieften Vorhof. Schimper (260) teilt aus seinen biologischen Studien der javanischen Flora mit: „Hat man die obere Grenze der Nebelregion überschritten, so tritt man in kurzer Zeit aus einer Vegetation von ausgeprägt hygrophilem Charakter in eine solche, wo letztere ebenso ausgesprochen xerophil ist. Nicht der niederen Temperatur verdankt diese alpine Flora ihr höchst eigenartiges Gepräge, sondern den Schutzmitteln gegen Transpiration. Noch mehr xerophil ist der Charakter der Hochgebirgsvegetation im trockenen Ostjava. Beinahe alle Transpirationsschutzmittel sind hier zu finden, am seltensten (wegen des Fehlens der Sukkulenten) die Ausbildung von Wassergewebe. Schimper trägt auch kein Bedenken, die Eigentümlichkeiten der europäischen Hochgebirgsflora — geringe Größe der alpinen Sträucher, mächtige Wurzelbildung, Dickblättrigkeit, Behaarung — ebenso wie die der javanischen auf die durch Luftverdünnung und stärkere Insolation bedingte größere Transpiration und die dadurch erschwerte Wasserversorgung zurückzuführen.“

Altenkirch (287) beschreibt die Flora der „Bosel“ (ein Granitfels des Spaargebirges südöstlich von Meißen). Auf diesem trockenen, von granitischem Gerölle und Sand bedeckten, im Hochsommer von den Sonnenstrahlen stark erhitzten Hügel gedeiht eine reichhaltige Flora. Altenkirch verglich nun die Organisation verschiedener Boselpflanzen mit denselben oder mit verwandten Arten einer benachbarten Wiesentrift und fand folgende Schutzeinrichtungen gegen starken Wasserverlust der Boselpflanzen:

a) anatomische Hilfsmittel: Starke Entwicklung der äußeren Epidermiswand und Kutikula, dichtere Haarbekleidung, geringere Zahl und vertiefte Lage der Spaltöffnungen, Kleinheit der Atemhöhlen, starke Entwicklung des Pallisadenparenchyms; b) chemischer Schutz im Zellsaft: Schleim, Gummi, Apfelsäure; c) starke Ausbildung der Wurzeln oder Rhizome zur Erreichung tieferer (feuchter) Bodenschichten; d) Beschleunigung der Vegetationsperiode. Zur Bestimmung des Widerstandes gegen das Verwelken wurden Boselpflanzen (*Euphorbia Cyparissias*, *Rumex acetosella*, *Carex humilis*, *Centaurea pannonica*, *Peucedanum Cervicaria*) mit entsprechenden, auf einer diesem Geröllabhange anliegenden Wiesentrift wachsenden Pflanzen (*Euphorbia Cyparissias*, *Rumex acetosella*, *Carex spec. div.*, *Centaurea jacea*, *Peucedanum Oreoselinum*) verglichen. Die abgeschnittenen Pflanzen lagen nach Bestimmung des Frischgewichtes in einem nach Norden gelegenen Zimmer ausgebreitet; nach je 12 Stunden wurde der Wassergehalt bestimmt. Hierbei ergab sich „die Überlegenheit und Stärke der Boselpflanzen im Ausharren bei Wassernot“. Das Verhältnis der Wasserabgabe zwischen Bosel- und Wiesentriftpflanzen betrug z. B. bei *Euphorbia Cyparissias* 1 : 1,5, bei *Rumex acetosella* 1 : 2,5.

Auf S. 19 habe ich die Versuche kritisiert, die Müller-Thurgau (276, ferner in „Weinbau und Weinhandel“ 1893 Nr. 5—6) mit Zweigen verschiedener Apfel- und Birnensorten gemacht hat, in der Meinung, daß sich aus der Größe der Wasserabgabe (de facto bestimmte der Autor die Wasseraufnahme) ein Maßstab für die „Anbaufähigkeit“ dieser Obstbäume ergäbe. Es stellte sich heraus, daß die Apfelzweige pro qcm Blattfläche mehr Wasser aufsogen, als die Birnzweige. Infolge dieses geringen „Schutzes“ der Apfelbäume gegen „Transpiration“ ergäbe sich die größere Empfindlichkeit der Apfelbäume gegen anhaltende Trockenheit, und es wären nach Müller in solchen Gegenden, in denen häufig warme Winde wehen, oder die arm an Niederschlägen sind, solche Obstsorten zu kultivieren, die durch ihre Blattbeschaffenheit gegen starke Transpiration geschützt sind. Mit Recht hat Kröber darauf hingewiesen, daß die Bemühungen von Müller für die Praxis keinen Wert haben, daß man insbesondere über die Sortenauswahl von Obstbäumen für bestimmte Gegenden nicht belehrt wird. Denn die Versuche waren zu wenig umfangreich und von zu kurzer Dauer; ferner wurden abgeschnittene Zweige verwendet; drittens wurde nicht die Menge des durch die Blätter transpirierten, sondern die des durch den Stengelquerschnitt aufgenommenen Wassers ermittelt. Eberdt hat noch auf

die Anpassungsfähigkeit der Pflanzen an Klima und Boden hingewiesen, die Müller nicht in Betracht zog und deren Ermittlung praktischen Wert hätte.

---

## XXVIII. Förderungsmittel der Transpiration.

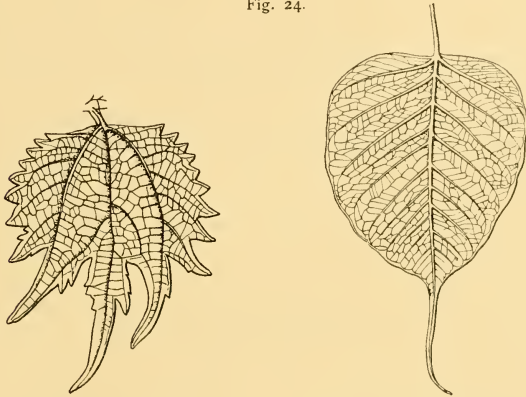
---

Die Pflanzen besitzen aber nicht nur Mittel und Einrichtungen zur Herabsetzung der Transpiration, sondern auch Eigentümlichkeiten, die als Förderungsmittel der Verdunstung angesprochen werden müssen und sich als solche für die betreffenden Pflanzen als zweckmäßig erweisen. Wir finden denn auch, daß die Blätter solcher Pflanzen, welche in schattigen Wäldern, in feuchten Schluchten u. dgl., also an Orten leben, zu denen die Sonnenstrahlen nur in sehr beschränktem Maße Zutritt haben, eine Organisation besitzen, durch welche die Transpiration erhöht wird. Dahin gehört der Besitz einer glatten, ebenflächigen Lamina, schwache Verdickung und Kutikulierung der äußeren Epidermiszellwände, Ausbildung eines lockeren, an großen Interzellularen reichen Mesophylls, Vermehrung der Spaltöffnungen etc. Auch die bedeutende Vergrößerung der Blattfläche bei Palmen, Musaceen, Aroideen und anderen Pflanzen feuchtwarmer Tropengebiete muß als ein Förderungsmittel der Transpiration angesehen werden, ebenso wie andererseits die Kleinheit der Blätter xerophytischer Gewächse mit einer geringen Wasserabgabe verbunden ist.

Jungner (Botan. Zentralbl. XLVII. Bd. 1891) hat darauf aufmerksam gemacht, daß in der Flora der regenreichen Kamerungebirge Blätter mit in eine lange Spitze auslaufenden Spreite häufig vorkommen und konstatierte, daß bei solchen Blättern während oder nach einem Regen die Wasserableitung und Trockenlegung der Spreite rascher erfolgt als bei Blättern ohne eine derartige Spitze. Stahl (285) bestätigte, daß die Träufelspitze (vgl. Fig. 24) ein charakteristisches Merkmal der Pflanzen regenreicher Gegenden ist und erblickt in der raschen Wasserableitung einen mehrfachen Nutzen für die Pflanze, darunter „Beförderung der Transpiration“. Bei der großen Luftfeuchtigkeit regenreicher Tropengebieten müßte die Transpiration, welche, wie Stahl richtig bemerkt, „eine hauptsächlichste Bedingung

für die Aufnahme mineralischer Nährstoffe ist“, insbesondere bei den Pflanzen des schattigen Waldbodens sehr gering sein. Infolge der raschen Trockenlegung der Spreite kann die Transpiration besser vor sich gehen, als wenn die Blätter lange Zeit benetzt bleiben. Auch können die dem Blatte zugeführten Wärmemengen, welche bei den nassen Blättern für die Verdunstung des aufliegenden Wassers verbraucht werden, an dem abgetrockneten Laube zur Verdampfung des

Fig. 24.



Blatt von *Boehmeria urticaefolia* mit Träufelspitzen (nach Stahl) (verkl.).

Blatt von *Ficus religiosa* mit langer Träufelspitze (nach Stahl) (verkl.).

Transpirationswassers Verwendung finden. Diesen, von Stahl angeführten Momenten kann beigefügt werden, daß nach den Erfahrungen von Wiesner infolge der länger andauernden Beregnung der (benetzbaren) Blattoberseiten die Transpiration (überhaupt Wasserbewegung) der Pflanzen nach dem Aufhören des Regens und rascher Abtrocknung der Spreiten erhöht wird, was den Pflanzen, deren Transpiration während der Beregnung stark deprimiert war, zugute kommt.

Gegen die Stahl'sche Auffassung von der biologischen Bedeutung der Träufelspitze hat Keeble (352) eingewendet, daß nach seinen (Keeble's) Erfahrungen diese Spitze an älteren Blättern, wo sie allein wirksam sein könnte, vertrocknet, während sie gerade zu einer Zeit am vollkommensten ausgebildet ist, wo sie noch nutzlos sein würde (?). Blätter mit Träufelspitzen kommen indes auch bei

unseren Pflanzen nicht selten vor, wie bei Arten von *Acer*, *Platanus*, *Sambucus*, *Tilia*, *Urtica*, *Spiraea* etc.

Im „power of movement in plants“ hat Ch. Darwin die Ansicht ausgesprochen, daß die nyktitropischen Blattstellungen der Pflanze den Vorteil gewähren, die Spreiten vor nächtlicher Ausstrahlung und dadurch vor Abkühlung zu schützen, aber auch beigefügt, daß diese Annahme nicht gelten kann für Pflanzen in warmen, frostfreien Gegenden. Stahl (304) hat nun die Ansicht geäußert, daß bei diesen Gewächsen die höhere Temperierung der schlafenden Blattspreiten, sowie der fehlende oder spärliche Taubeschlag die Wasserabgabe begünstigt und zwar sowohl während der Nacht selbst, als auch am Morgen, wenn die Blättchen wieder die Tagstellung angenommen haben. Denn während taubedeckte Blätter, die von einer nahezu dampfgesättigten Atmosphäre umgeben sind, bei schwacher Zustrahlung nur wenig zu transpirieren vermögen, weil die zugestrahelte Wärme teilweise zur Verdunstung der anhaftenden Wassertropfen verbraucht wird und hierbei zugleich Verdunstungskälte entsteht, können die trockenen oder rasch trocknenden Spreiten ungehindert Wasser abgeben. Nach Stahl steht also die Nachtstellung der Spreiten von Pflanzen warmer Klimate im Dienste der Transpiration. Sie ist besonders bei Pflanzen verbreitet, die sich gegen starke Insolation durch Profilstellung der Spreiten schützen (Leguminosen, Oxalideen) und es bildet die erleichterte Wasserdampfabgabe in den frühen Morgenstunden eine Kompensation zu der tagsüber durch die Profilstellung bedingten Herabsetzung der Transpiration. Bezüglich der Pflanzen gemäßigter und kalter Erdstriche hat Henslow (219) die Ansicht aufgestellt, daß die „Schlafstellung“ (wie auch die Knospenlage) der Blätter nicht nur ein Schutzmittel gegen zu großen Wärmeverlust durch Strahlung, sondern auch gegen Wärmeverlust infolge der Verdunstung bilde. Diese Anschauung wurde aus folgender Erfahrung gewonnen. Eine Anzahl junger Blätter von *Fraxinus*, *Juglans*, *Laburnum*, *Prunus*, *Rosa*, *Tilia*, *Trifolium*, *Vinca* wurde in zwei gleiche Partien geteilt; die Blätter der einen Partie wurden in ihrer natürlichen Nachtlage belassen, die der anderen durch schmale Kartonstreifen oder durch gespaltene Korke ausgebreitet gehalten. Aus den am Abend und am folgenden Morgen vorgenommenen Wägungen ergab sich, daß bei künstlicher Ausbreitung der Wasserverlust größer war als bei natürlicher Lage der Blätter.

Durch die Untersuchungen von Engelmann und Stahl ist dargetan worden, daß das Anthokyan in erster Linie nicht als ein

chlorophyllschützendes, sondern als ein wärmeabsorbierendes Medium zu betrachten ist. Eine kräftige Entwicklung von Anthokyan in den Zellen des vegetativen Systems ist nach Wulff ein charakteristisches Merkmal der arktischen Gewächse. Die infolge der Wärmeabsorption der Pflanze zugeführte Energie kommt nach Wulff der arktischen Flora in doppelter Weise zugute: sie befördert die Transpiration bei niedriger Temperatur und bei hoher Luftfeuchtigkeit und sie beschleunigt die im Plasma sich abspielenden Prozesse der Stoffbildung und Stoffwanderung. —

Die heuer im Frühjahr erschienene, umfangreiche (376 Quartseiten umfassende) Anthokyan-Monographie von Buscalioni-Pollacci, die auch Transpirationsversuche enthält, bekam ich erst nach Abschluß meines Manuskriptes und konnte deshalb die von diesen Autoren gemachten Befunde und ausgesprochenen Ansichten hier nicht aufnehmen.

---

## XXIX. Bedeutung der Transpiration für den Transport der Nährstoffe.

---

Die physiologische Bedeutung der Transpiration für die Bewegung des sogenannten Transpirationsstromes beziehungsweise für den Transport des rohen Nahrungssaftes von den Wurzeln zu den Blättern wird allgemein anerkannt; nur vier Autoren haben meines Wissens die Transpiration als ein „notwendiges Übel“ für die Pflanze proklamiert. Zuerst warf Reinitzer die merkwürdige Frage auf, ob die Transpiration für die Pflanze nützlich, oder schädlich, oder bedeutungslos sei. Er meint, bei den Wasserpflanzen und bei den subterranean Gewächsen sei es das umgebende Medium, bei den „kaktusartigen“ die äußerst spärliche Wasserzufuhr, die das „Fehlen der Transpiration“ veranlassen. Er weist ferner darauf hin, daß die Pflanzen gerade dann „wenn sie am Transpirieren gehindert sind“, wie in unseren Treibhäusern, am üppigsten gedeihen; desgleichen sei die Vegetation in feuchten Wäldern üppiger als an Orten mit trockener Luft, an welchen die Pflanzen genötigt sind, stark zu transpirieren. Um ein sicheres Urteil zu gewinnen, stellte Reinitzer „wissenschaftlich kontrollierte“ Experimente an, deren Durchführung ihm „nur durch die unermüdete Unterstützung“ seines damaligen Vorstandes, Prof.

Ad. Weiß in Prag ermöglicht wurde. Diese Experimente wurden zunächst in der Weise gemacht, daß zwei möglichst gleiche Pflanzen unter Glasglocken gebracht wurden, durch welche kontinuierlich Luft aspiriert wurde, die für die eine Glocke „mit Wasserdampf gesättigt“, für die zweite aber „vollständig getrocknet war“. Nach eigenem Geständnis konnte aber Reinitzer keine Pflanze finden, die in dieser trockenen Atmosphäre länger als einen oder wenige Tage lebend auszuhalten. Die Versuche wurden daher in der Weise modifiziert, daß durch bewurzelte! Sprosse (*Tradescantia*) oder in Topfpflanzen (*Nerium Oleander*) eine Nährstofflösung, beziehungsweise Wasser unter Druck eingepreßt wurde. Das Resultat war, daß die in der (fast) absolut feuchten Luft befindlichen Pflanzen bedeutend kräftiger sich entwickelten, als die in der sehr trockenen. „Nachdem nun so die Tatsache vollkommen sichergestellt war, daß die Transpiration einen entschieden verlangsamenden Einfluß auf das Wachstum hat, muß es sich darum handeln, zu zeigen, warum ein so entschieden nachteilig wirkender Vorgang sich einer so allgemeinen Verbreitung im Pflanzenreiche erfreut.“ Antwort: „Die Spaltöffnungen und Atemhöhlen sind offenbar bloß deshalb vorhanden, um eine möglichst rasche Aufnahme und Zersetzung der Kohlensäure möglich zu machen und nicht um die Transpiration zu erhöhen. Es erscheint somit die Transpiration als ein notwendiges Übel für die Pflanzen, indem mit der Vergrößerung der kohlenstoffaufnehmenden Oberfläche auch die transpirierende Oberfläche eine Vergrößerung erfahren muß.“

Zunächst muß gegenüber Reinitzer tatsächlich berichtigt werden, daß bei den „kaktusartigen“ Gewächsen von einem „Fehlen der Transpiration“ nicht gesprochen werden kann. Dieser angebliche Transpirationsmangel wird auch nicht durch die spärliche Wasserzufuhr veranlaßt, sondern gerade umgekehrt: Weil die Sukkulente durch das Zusammenwirken mehrerer Organisationseigentümlichkeiten eine nur sehr geringe Wasserabgabe haben, ist eine ausgiebige Wasserzufuhr nicht nötig und wegen des Wasserzurückhaltungsvermögens dieser Gewächse ist der Wurzelkörper und sind die wasserleitenden Elemente reduziert. Ein Irrtum ist es ferner, zu behaupten, daß in den Treibhäusern die Pflanzen am Transpirieren gehindert sind. Glaubt denn Reinitzer, daß in unseren Treibhäusern die Luft tage- und wochenlang ununterbrochen mit Wasserdampf gesättigt ist? Herrscht denn in diesen Räumen eine konstante Temperatur, oder werden dieselben luftdicht verschlossen? Andererseits sind die an Orten mit trockener Luft vorkommenden Gewächse durchaus nicht



genötigt, stark zu transpirieren, da sie bekanntlich durch Ausbildung von Schutzeinrichtungen mannigfacher Art vor starker Transpiration geschützt sind. Neu ist, daß die Spaltöffnungen nicht nur die Aufnahme, sondern auch die Zersetzung der Kohlensäure ermöglichen.

Was den Gedankengang Reinitzer's betrifft, so hat „G. K.“ (Gregor Kraus?) in einer kritischen Besprechung (in Wollny, Forschungen etc. IV. Bd., S. 415) der Abhandlung Reinitzer's gezeigt, daß sich dieselben Konklusionen bereits in einer älteren Schrift Hanstein's (Versuch über die Leitung des Saftes durch die Rinde etc. 1860) vorfinden. Dort heißt es etwa: Die Erfahrung lehrt, daß Pflanzen nirgends üppiger und kräftiger wachsen, als in der völlig mit Wasserdampf gesättigten Luft des Treibbeetes oder in der feuchten Sumpf- und Waldatmosphäre. Zum Wachstum und zur Assimilation ist also die Wasserabgabe nicht nötig, und die Transpiration erscheint, da mit der Vergrößerung der Interzellularen und Atemhöhlen zugleich die Wasserabgabe in trockener Luft gesteigert wird, als ein notwendiges Übel. Dazu bemerkt der Ref. („C. K.“), daß das verstärkte Wachstum in sehr feuchter Luft nur einen einseitigen Maßstab zur Beurteilung des physiologischen Wertes der Transpiration bieten kann. Der fast ununterbrochen forcierten Beförderung des Blattwachstums stehen andere Erscheinungen gegenüber, die als für die gesamte Ökonomie der Pflanze nachteilig erscheinen. Die Bedingungen der Blütenbildung vereinigen sich nicht mit den Bedingungen üppigsten Blattwachstums; die Ausbildung und Füllung der perennierenden Teile mit Reservestoffen leidet oft genug durch das bei dauernd sehr feuchter Luft geförderte Wachstum. Wenn demnach schon die Einseitigkeit der Vergleichung der Beziehung einer einzigen Funktion keinen allgemeinen Schluß auf die Schädlichkeit der Transpiration zuläßt, so berechtigen hierzu die Versuche Reinitzer's schon deshalb nicht, weil die Versuchsverhältnisse für die Trockenpflanzen zu extrem waren. Es wird wohl keinem der Forscher, welche der Transpiration einen vorteilhaften Einfluß zugeschrieben haben, diese Ansicht so verstanden haben wissen wollen, daß auch ein solcher Grad der Transpiration noch günstig wirken müsse, bei der die Pflanzen dem Vertrocknen nahe kommen.“

Auch Volkens erscheint die Notwendigkeit der Transpiration „unerfindlich“; er meint, ein Hinweis auf die submersen Gewächse und auf das vortreffliche Gedeihen vieler Pflanzen im „dauernd dunstgesättigten Raum“ dürfte genügen, um das Unwahrscheinliche der Annahme, daß ohne Transpiration die Existenz einer höheren Pflanzenwelt nicht denkbar wäre, darzutun. Diese Logik (Wood's sagt:

„These opinion, in a most emphatic manner expressed by Volken's) daß, weil die submersen Gewächse nicht zu transpirieren brauchen, es auch unwahrscheinlich sein muß, daß die Transpiration für die anderen Pflanzen eine notwendige Lebensbedingung wäre, hat Stenström durch folgendes Beispiel illustriert: Es scheint mir dies, sagt der genannte Autor, etwas Ähnliches zu sein, als wenn jemand behaupten wollte, daß auch andere Tiere ohne wärmehaltende Bekleidung leben könnten, da die Schlange es ohne Nachteil tun kann; diese letzte Schlußfolgerung wäre vielleicht um so wahrscheinlicher, als der Abstand zwischen der Schlange und den übrigen höheren Tieren sowohl in bezug auf Lebensweise als auch phylogenetisch größer sein dürfte, als der zwischen den submersen und vielen anderen höheren Pflanzen. Außerdem sei zu beachten, daß sich die submersen Pflanzen wahrscheinlich einen Ersatz für die fehlende Transpiration und die damit in Verbindung stehenden Verhältnisse auf andere Weise verschaffen. Tatsächlich wissen wir heute auf Grund der Untersuchungen von Sauvageau, Wieler, Weinrowski, Minden u. a., daß auch in den submersen Pflanzen ein Blutungsdruck herrscht, und daß auch bei diesen Gewächsen eine Flüssigkeitsbewegung und ein Flüssigkeitsaustausch zwischen dem leitenden Gewebesystem und dem umgebenden Wasser stattfindet; auch die submersen Pflanzen nehmen Wasser und mit diesem gelöste Mineralstoffe auf und scheiden solches durch die Apikalöffnungen oder durch die Wasserspalten der Blätter aus. Faßt man die Erscheinung der Transpiration im weiteren Sinne des Wortes auf, und subsumiert darunter die Guttation, so kann auch bei den submersen Gewächsen von einer Transpiration gesprochen werden.

Oels, der auch über Transpiration geschrieben hat, zieht eine Parallele zwischen der Transpiration der Pflanze und der des Menschen und meint, die Verdunstung sei in beiden Fällen ein „notwendiges Übel“, insofern dem Körper stetig das ihm so notwendige Wasser entzogen wird. Ich halte es weder für notwendig noch für ein Übel, wenn ich mich mit diesem Autor nicht weiter befasse.

Die physiologische Bedeutung der Transpiration auch nicht hoch taxierend, allein gemäßigt spricht sich Haberlandt (275) aus. Er meint, die Behauptung, daß der Transpirationsstrom als Vehikel der Nährsalze für die Ernährung der grünen Landpflanze von maßgebender Bedeutung sei, könne nicht schlagender widerlegt werden als durch den Hinweis auf die großartige Fülle der Vegetation des feuchtwarmen tropischen Urwaldes, wo die Assimilationsenergie „bei sehr geringer, oft ganz sistierter Transpiration“ die höchsten Werte erreicht.

Der sogenannte Transpirationsstrom, sagt dieser Autor, mag bei krautigen Pflanzen die Bewegung der Mineralsubstanzen begünstigen; der grünen Landpflanze stehen aber osmotische Kräfte zur Verfügung, welche ganz unabhängig von jenen Betriebskräften, die den zur Deckung der Transpirationsverluste nötigen Wasserstrom einleiten und unterhalten, selbst bei reichlichster Assimilation eine hinreichende Menge von Aschenbestandteilen aus den Wurzeln in die höchsten Baumkronen hinaufbefördern. Man wird sich wohl, sagt Haberlandt, nach und nach mit dem Gedanken vertraut machen müssen, daß der Transpirationsstrom nur eines der Mittel und nicht das wichtigste ist, das den Transport der Nährstoffe besorgt.

Es ist gewiß kein Zweifel, daß die Transpiration nicht das einzige Mittel ist, durch welches die Leitung der Nährstoffe zu den assimilierenden Blattzellen erfolgt; allein es ist nach meiner Ansicht das wichtigste; ich bin auch überzeugt, daß wenigstens die großblättrigen Tropenpflanzen eine nicht geringe Wassermenge durch Transpiration täglich verlieren. Wenn Stenström sagt: „Die große Bedeutung der Transpiration für das Leben der Pflanze dürfte wohl von niemand mehr angezweifelt werden“, so wäre dieser Satz mit Rücksicht auf die Ansichten von Reinitzer, Volkens und Oels allerdings zu korrigieren; Stenström könnte aber diese Korrektur ruhig hinnehmen, und sich dabei verschiedenes denken.

Im Gegensatz zu Haberlandt hat Böhm (271) die Behauptung aufgestellt und zu begründen versucht, daß bei der Bewegung des Transpirationsstromes osmotische Saugung gar keine Rolle spielt. Einen „unanfechtbaren Beweis“ für seine Ansicht erblickt Böhm in der Tatsache, daß gebrühte Sprosse fortfahren, lebhaft Wasser aufzunehmen und abzugeben, wie sich aus einigen Transpirationsversuchen mit gebrühten Laub- und Nadelholzzweigen ergab. Die Sprosse wurden im heißen Wasser gebrüht, die der Koniferen (*Abies pectinata*, *Pinus silvestris* und *Laricio*) außerdem, um die Wachsschicht von den Blättern zu entfernen, mit Petroleumäther gewaschen, „worauf die Transpiration eine enorme war“. Bei Versuchen mit *Salix fragilis* standen bewurzelte Stecklinge in 2 proz. Sublimat — 5 proz. Oxalsäure — 10 proz. Salpeterlösung; bei *Acer campestre* waren die Blätter des gebrühten Sprosses am dritten Tage größtenteils dürr; gleichwohl verdunstete dieser Sproß noch am letzten (siebenten) Versuchstage intensiver als der Kontrollsproß u. dgl. m. Auch diese Untersuchung Böhm's charakterisiert sich, wie seine anderen Arbeiten über Saftsteigen, auf die er so viel Mühe verwendete, durch Mangel sowohl

an Exaktheit im Experiment wie an Klarheit der Darstellung. Keinesfalls sind diese „Versuche“ Böhm's irgendwie beweisend für die von ihm bedingungslos ausgesprochene Behauptung, daß bei der Wasserbewegung in der Pflanze die Osmose gar keine Rolle spiele.

Im Anschluß an die Versuche von Böhm führe ich jene von Weber an. Abgeschnittene Zweige von Holzpflanzen wurden an der unteren, 2—3 cm langen entindeten Partie in einer Flamme stark „gedörnt“. Nach Einstellen in Wasser (bloß 5 mm tief) zeigte sich, daß der gedörnte Zweig von *Corylus* viel mehr, der von *Sam-bucus* viel weniger, der eines *Ribes* ebensoviel Wasser abgab, als der nicht gedörnte Vergleichszweig.

Es ist kein Zweifel, daß die Stoffbewegung innerhalb der parenchymatischen Gewebe durch Osmose erfolgt; die Flüssigkeitsmengen, welche sich in saftigen Früchten, in Knollen und Zwiebeln während deren langsamen Entwicklung anhäufen, ebenso der Wassereintritt in schwellende Knospen erfolgt auf diesem Wege. Allein osmotische Kräfte sind nicht imstande, jene großen Mengen von Bodensalzen rasch in die Baumkrone zu schaffen, welche diese bei günstigen Assimilationsbedingungen benötigt. Es ist doch klar, daß die grüne Landpflanze zur Erzeugung einer größeren Menge organisierter Substanz auch ein entsprechend großes Quantum an Aschenbestandteilen benötigt — man denke nur an die Produktion von Holz, Laub, von Blüten und Früchten großer Bäume während einer Vegetationsperiode — und daß daher, weil das von den Wurzeln aufgenommene Bodenwasser einen äußerst geringen Prozentsatz an Nährsalzen hat, bei ausgiebiger Assimilationstätigkeit auch viel Wasser in die Pflanze eintreten und dieses rasch durch den Stamm und alle Haupt- und Nebenäste in das Berieselungssystem der Blätter, wie Sachs zutreffend die Nervatur bezeichnet, geleitet werden muß. Durch die Transpiration des Laubes werden die Oberhaut- und die an größere Interzellularen anstoßenden Zellen wasserärmer; sie entziehen deshalb das Wasser den Nachbarzellen und diese erhalten Ersatz aus dem im Blattparenchym sich verzweigenden Leitungssystem. Dieser Nachschub pflanzt sich in den saftleitenden Holzteilen bis zu den wasseraufnehmenden Wurzeln fort. Die Wasserabgabe der Blätter, ihre Transpiration ermöglicht es, daß — genügende Bodenfeuchtigkeit vorausgesetzt — große Mengen von Nährstofflösungen in kurzer Zeit durch die saftleitenden Teile der Gefäßbündel in die assimilierenden Zellen geschafft werden.

Schon Hales erkannte durch vergleichende Versuche mit belüfteten und mit entblätterten Zweigen den mächtigen Anteil des Laubes an der Transpiration und deren Bedeutung für das Saftsteigen.

Nach den Untersuchungen von Dietrich (96), Sorauer (178) und Heinrich (384) stieg bei verschiedenen landwirtschaftlichen Kulturpflanzen, bzw. bei jungen Holzpflanzen mit der Menge des verdunsteten Wassers auch die Menge der produzierten Pflanzensubstanz; übereinstimmend haben Lawes, Fittbogen, Mikosch und Zoebel gefunden, daß zu derselben Zeit, in welcher das meiste Wasser durch die Gerstenpflanze passiert, diese auch die größte Zunahme an Trockensubstanz erfährt. Von besonderer Bedeutung für den Aufstieg des Saftstromes ist die Transpiration für die Baumvegetation, bei welcher gerade im Sommer zur Zeit der größten Assimilation der Wurzeldruck keine Rolle spielt. Daß eine zu starke Transpiration und damit eine größere Gleichgewichtsstörung zwischen Wassereinnahme und Ausgabe für die Pflanze von Nachteil ist, wer wollte es leugnen? Daher auch die verschiedenartigsten Transpirations-Schutzeinrichtungen der Xerophyten, daher aber auch deren Substanzarmut. Aus seinen vergleichenden Untersuchungen der arktischen Gewächse schließt Wulff, es sei naheliegend, die lebhaftere Transpiration einiger der untersuchten Arten (*Potentilla pulchella*, *Saxifraga nivalis*, *Papaver radicum*, *Polygonum viviparum*) mit der reichlichen, oft fast üppigen Entwicklung des vegetativen Systems dieser Arten in Zusammenhang zu bringen; „andererseits sind die mit der schwächsten Transpiration ausgerüsteten Versuchspflanzen (*Taraxacum phymatocarpum*, *Saxifraga caespitosa*, *Cerastium alpinum*) auch diejenigen, welche das geringste Wachstum und die schwächste Substanzvermehrung zeigen.“

Die Transpiration der Pflanzen ist daher kein notwendiges Übel, sondern ein Prozeß von physiologischer Bedeutung. Ebensogut könnten die früher genannten Autoren auch die Atmung als ein notwendiges Übel bezeichnen: notwendig wegen der Erzeugung von Wärme und lebendiger Kraft, ein Übel wegen der Zerstörung organisierter Substanz.

Durch die Transpiration wird auch infolge der erzeugten Verdunstungskälte (Wärmeentziehung) eine zu starke Erhitzung der Pflanze bei intensiver Insolation verhütet, worauf bereits Neuffer im Jahre 1829 aufmerksam machte. Ja in manchen Fällen bildet die durch Transpiration hervorgerufene Abkühlung ein Schutzmittel gegen Sonnenbrand, wie sich aus der folgenden Beobachtung von Müller Thurgau (276) ergibt. Derselbe verschloß zwei Weintrauben in je ein Glasgefäß und stellte sie in einem Raume auf, dessen Temperatur etwa 45 ° C betrug. In jenem Gefäße, in dem die Luft fortwährend feucht erhalten wurde, verbrannten die Beeren, während die Traube jenes Gefäßes, in dem die Luft fortwährend mittels Chlorkalzium

trocken erhalten wurde, gesund blieb, nach Müller offenbar deshalb, weil sie infolge lebhafter Verdunstung mehrere Grade unter die Temperatur des umgebenden Raumes abgekühlt wurde.

In richtiger Erkenntnis der Dinge sagt Pfeffer (Pflanzenphysiologie, I. Bd. S. 216): „So wird durch die von der Transpiration abhängige Wasserbewegung nachweislich die Verteilung gelöster Körper in hohem Grade beschleunigt und bei der so langsamen Diffusionsbewegung würden ohne solche Hilfe sicherlich Bäume, voraussichtlich auch vielfach Krautpflanzen aus der verdünnten Bodenlösung nicht so schnell mit Aschenbestandteilen versorgt, wie es zu einer normalen Entwicklung nötig ist. Es ist auch fraglich, ob nicht die Transpiration und die damit verknüpften Vorgänge in solcher Weise auf die Tätigkeit und auf die Ausbildung der Pflanze rückwirken, daß derselben daraus in ihrem Leben Vorteile erwachsen.“

Für die allgemeine Ökologie der Pflanzen — sagt Hesselmann in seiner vor wenigen Wochen erschienenen, inhaltsreichen Abhandlung p. 447 — ist die Transpiration eine der wichtigsten Erscheinungen der Pflanzenwelt. „Das Studium derselben scheint mir dann am fruchtbarsten zu sein, wenn man die Transpiration mehr als bis jetzt als eine notwendige Erscheinung betrachtet, von welcher die Pflanzen mannigfaltigen Nutzen ziehen können.“

---

### XXX. Kompilatorisches.

---

Mehrere Autoren haben einen kleineren oder größeren Teil der namentlich in den letzten Dezennien erschienenen Transpirationsarbeiten in selbständigen Schriften zusammengefaßt und mehrfach auch kritisch behandelt: Burgerstein (119), Farsky (131), Keller (251, 349), Klebahn (256), Bessey and Woods (265), Wiesbaur (280), Ebert (297, 298), Roth (303), Woods (313), Schinz (355).

---

## Literaturnachweise.

Die unter den einzelnen Abhandlungen sub „Ref.“ stehenden Angaben beziehen sich auf Referate im Botanischen Centralblatt („B. C.“) und im Botanischen Jahresbericht („B. J.“). Die erste Zahl bedeutet beim Centralblatt den Band, beim Jahresbericht den Jahrgang (ob I. oder II. Band desselben, ist nicht angegeben), die zweite Zahl bezieht sich jedesmal auf die Seitennummer. Die Zitate der Wiener kais. Akad. der Wissenschaften verstehen sich für die mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse der Akademie. Für die Abhandlungen der Jahre 1856—86 sind weitere Referatsdaten aus verschiedenen periodischen Schriften im I. Teil meiner „Materialien“ zu finden.

---

248. Alessandri, P. E., Studi sulla evaporazione comparata dell' acqua, del suolo e di piante erbacee. (L'Italia agricola, tom. XX, Milano 1888, p. 378.)  
Ref. B. J. 16. 74.
263. Aloï, A., Relazioni esistenti tra la traspirazione delle piante terrestri ed il movimento delle cellule stomatiche. Ricerche originali (Catania, Rizzo 1891.)  
Ref. B. C. Beiheft 1892. 107. — B. J. 19. 2.
264. —, —, Sulla traspirazione cuticolare e stomatica delle piante terrestri. (Catania, Rizzo 1891.)
295. —, —, Influenza dell' umidità del suolo sulla traspirazione delle piante terrestri. (Atti dell' acad. Givernia di scienze nat. Catania, ser. 4, tom. VII, 1894.)  
Ref. B. J. 23. 34.
296. —, —, Influenza dell' umidità del suolo sul movimento delle cellule stomatiche. (Il naturalista siciliano, tom. XIV, Palermo 1894.)  
Ref. B. J. 23. 34.
287. Altenkirch, G., Beiträge über die Verdunstungsschutzeinrichtungen in der trockenen Geröllflora Sachsens. (Engler, Botan. Jahrb. tom. XVIII, 1894, p. 354.)  
Ref. B. J. 22. 250.

22. Amici, J. B., Osservazioni microscopiche sopra varie piante. (Atti de la soc. ital. et. tom. XIX, Modena 1822.)  
Übers. in Ann. sc. nat. Bot. sér. I, tom. II, 1824, p. 211.
145. Anders, J., On the transpiration of plants. (The American naturalist, tom. XII, Philadelphia 1878, p. 160.)  
Ref. B. J. 6, 184)
146. —, —, The beneficial influence of plants. (Ebenda, tom. XIII, 1878, p. 793.)
354. Anderson, Al. P., On a new registering balance. (Minnesota Botanical studies, tom. I, 1894, p. 98.)  
Ref. B. J. 22. 260.
245. Areschoug, F. W. C., Der Einfluß des Klimas auf die Organisation der Pflanzen, insbesondere auf die anatomische Struktur der Blattorgane. (Engler Botan. Jahrb. Bd. II, 1882, p. 511.)  
Ref. B. C. 12. 150. — B. J. 10. 258.
314. —, —, Über die physiologischen Leistungen und die Entwicklung des Grundgewebes des Blattes. (Lund 1897.)  
Ref. B. J. 25. 448.
269. Aubert, M., Recherches physiologiques sur les plantes grasses. I. Acides organiques, turgescence et transpiration des plantes grasses. Paris (Masson) 1892.
270. —, —, Recherches sur la turgescence et la transpiration des plantes grasses. (Ann. sc. nat. Bot. sér. 7, tom. XVI, 1892, p. 1.)  
Ref. B. J. 41. 14.
94. Āaranetzky, J., Über den Einfluß einiger Bedingungen auf die Transpiration der Pflanzen. (Bot. Zeitung, tom. XXX, 1872, p. 65.)
364. Barnes, The significance of transpiration. (Meet. Bot. Central. states; Science; n. sér. vol. XV, 1902, p. 460.)
101. Barthélemy, A., De l'exhalation aqueuse des plantes dans l'air et dans l'acide carbonique. (Compt. rend. de l'Acad. d. sc. Paris, tom. LXXVII, 1873, p. 1080.)  
Ref. B. J. 1. 256.
102. —, —, De l'évaporation des plantes, de ses causes et de ses organes. (Revue des sc. nat. 1874.)
162. Baudrimont, A., Evaporation de l'eau sous l'influence de la radiation solaire ayant traversé des verres colorés. (Compt. rend. de l'acad. des sc. Paris tom. LXXXIX, 1879, p. 41.)
380. Berger, J., The transpiration of spartium junceum. and other xerophytic shrubs. (The Botan. Gazette, tom. XXXVI, 1903, p. 464.)



327. Bessey, Ch., Some considerations upon the functions of stomata. (Science, n. ser. tom. VII, 1898, p. 13.)
265. Bessey, E. and Woods A., Transpiration, or the loss of water from plants. (Proc. of the American. Assoc. for the advancement of sciences, read 1891, Salem (Mass) tom. XL, 1892, p. 305.)  
Ref. B. J. 19. 1.
8. Bjerkander, Bemerkungen über die Ausdünstung der Pflanzen etc. (Abh. d. königl. schwedischen Akad. der Wissensch. tom. XXXV, 1773). Aus dem Schwedischen übersetzt von A. G. Kästner; Leipzig 1780.
65. Böhm, J., Über die Ursache des Saftsteigens in den Pflanzen. (Sitzungsber. d. kais. Akad. der Wissensch. in Wien, Bd. XLVIII, 1863, p. 10.)
163. —, —, Über die Funktion der vegetabilischen Gefäße. (Bot. Zeitung, Bd. XXXVII, 1879, p. 225.)  
Ref. B. J. 7. 221.
271. —, —, Transpiration gebrühter Sprosse. (Ber. Deutsch. Botan. Ges. Bd. X, 1892, p. 622.)  
Ref. B. C. Beiheft 1893. 195. — B. J. 20. 85.
182. Bonnier vide Tieghem v. Nr. 182.
196. Bonnier, G., et Mangin, L., Recherches physiologiques sur les champignons. (Compt. rend. de l'acad. des sc. Paris tom. XCVI, 1883, p. 1075.)  
Ref. B. C. 18. 2. — B. J. 11. 5.
205. —, —, Recherches sur la respiration et la transpiration des champignons. (Ann. sc. nat. Bot. 6 sér. tom. XVII, 1884 p. 210.)  
Ref. B. J. 12. 6.
252. Bonnier, G., Influence des hautes altitudes sur les fonctions des végétaux. (Compt. rend. de l'acad. des sc. Paris, tom. CXI, 1890, II, p. 377.)  
Ref. B. C. 45. 380. — B. J. 18. 28.
307. Borzi, A., Aparechi indrofori di alcune xerofile della flora mediterranea. (Nuovo Giorn. Botan. Ital. tom. III, 1896, p. 80.)  
Ref. B. C. Beiheft 1896. 255. — B. J., 24. 57.
147. Boussingault, J., Etude sur les fonctions physiques des feuilles: transpiration, absorption de la vapeur aqueuse, de l'eau, des matières salines. (Ann. de chim. et de physik, 5. sér. tom. XIII, 1878.)  
Ref. B. J. 6. 180.

116. Briem, H., Die Wasserverdunstung durch Rübenblätter. (Organ des Centr.-Vereins für Rübenzuckerindustrie in der öst.-ung. Monarchie 14. Jahrg. 1876, p. 615.)
128. —, —, Über die Wasserverdunstung durch die Pflanze. (Ebenda, 15. Jahrg. 1877.)
26. Bronghiart, Ad., Recherches sur la structure et sur les fonctions des feuilles. (Ann. sc. nat. Bot. tom. XXI, Paris 1830, p. 420.)
117. Brosig, M., Die Lehre von der Wurzelkraft. (Inaug.-Dissert. der philos. Fakult. d. Universität Breslau 1876.)  
Ref. B. J. 4. 713.
394. Brown, H., und Escombe, F., Static diffusion of gases and liquids in relation to the assimilation of carbon and translocation in plants. (Philos. Transact. of the R. Soc. of London tom. CXCIII, 1900.)
- 109<sup>a</sup>. Burgerstein, A., Über die Transpiration von Taxuszweigen bei niederen Temperaturen. (Öster. Bot. Zeitschr. Bd. XXV, 1875, p. 183.)  
Ref. B. J. 3. 767.
118. —, —, Untersuchungen über die Beziehungen der Nährstoffe zur Transpiration der Pflanzen. I. Reihe. (Sitzb. d. kais. Akad. der Wissensch. in Wien, Bd. LXXIII, 1876, p. 191.)  
Ref. B. J. 4. 711.
148. —, —, Untersuchungen etc. II. Reihe. (Ebenda, Bd. LXXVIII, 1878, p. 607.)  
Ref. B. J. 6. 183.
119. —, —, Über den Einfluß äußerer Bedingungen auf die Transpiration der Pflanzen. (XII. Jahresber. des Realgymnas. im zweiten Gemeindebezirke von Wien, 1876.)  
Ref. B. J. 4. 712.
217. —, —, Über einige physiologische und pathologische Wirkungen des Kampfers auf die Pflanzen, insbesondere auf Laubspresse. (Verh. d. k. k. zoolog. botan. Gesellsch. in Wien, Bd. XXXIV, 1885, p. 543.)  
Ref. B. C. 23, 3. — B. J. 12. 53.
315. —, —, Über die Transpirationsgröße von Pflanzen feuchter Tropengebiete. (Ber. d. Deutsch. Bot. Gesellsch. Berlin, Bd. XV, 1897, p. 154.)  
Ref. B. C. 72. 178. — B. J. 25. 77.
358. —, —, Materialien zu einer Monographie betreffend die Erscheinungen der Transpiration der Pflanzen. Erster Teil. (Verh. d. k. k. zoolog. botan. Gesellsch. in Wien, Bd. XXXVI,

- 1887, p. 691). Sep.-Abdr. in Kommission bei A. Hölder, Verlagsbuchhandlung in Wien.  
Ref. B. C. 33. 74. — B. J. 15. 209.
359. Burgerstein, A., Materialien zu einer Monographie etc. Zweiter Teil. (Ebenda, Bd. XXXVIII, 1889, p. 399.)  
Ref. B. C. 40. 355. — B. J. 17. 62.
360. —, —, Materialien zu einer Monographie etc. Dritter Teil. (Ebenda, Bd. L, 1901, p. 49.)  
Ref. B. C. 87. 233. — B. J. 29. 195.
28. Burnett, G., On the development of the several organic systems of vegetables. (Journ. of the R. Instit. of Great Britain, tom. I. London, 1831.)
390. Buscalioni, L., e Pollacci, G., L'applicazione delle pellicole di collodio allo studio di alcuni processi fisiologici delle piante ad in particular modo della traspirazione. (Atti del. R. istit. Botan. Pavia, 1901—2.)
391. —, —, Le antocianine etc. XIII. Rapporti delle antocianine colla traspirazione e coll' evaporizzazione. (Atti dell' istit. Botan. dell' universita di Pavia. 2 ser. tom. VIII, Milano 1904.)
164. Buys-Ballot, De verdamping van water-oppervlakten, gronden en planten. (Jaarboek kon. Akad. Amsterdam, 1879.)
29. Candolle de A. P., Physiologie végétale etc. Paris 1832. (Deutsche Übersetzung von Joh. Röper. Bd. I, 1833, Bd. II, 1835.)
149. Comes, O., Azione della temperatura, della umidità relativa et della luce sulla traspirazione delle piante. (Rendic. della R. Accad. delle science fis. et mat. di Napoli 1878.)  
Ref. B. J. 6. 181.
165. —, —, Ricerche sperimentali intorno all azione della luce sulla traspirazione delle piante. (Ebenda, 1879.)  
Ref. B. C. 1. 120. — B. J. 7. 226.
172. —, —, La luce e la traspirazione nelle piante. (Atti della R. Accad. dei Lincei. Mem. della classe di sc. fis. — mat e nat. 3. ser. tom. VII, Roma, 1880.)  
Ref. B. C. 3. 933. — B. J. 8. 260.
173. —, —, Influence de la lumière sur la transpiration des plantes. (Compt. rend. de l'acad. des sc. de Paris, tom. LXXXVIII, 1880, p. 335.)  
Französische Übersetzung des Resumés der Abh. Nr. 165 und 172.  
Ref. B. C. 3. 1103. — B. J. 8. 261.
328. Copeland, E., A new self registering transpiration machine. (The Botan. Gazette, tom. XXVI, Chicago 1898, II, p. 343.)  
Ref. B. J. 26. 572.

110. Costerus, J. C., Het wezen der lenticellen en verspreiding in het plantenrijk. (Utrecht, 1875.)  
Ref. B. C. 3. 390.
282. Coupin, H., Sur la dessiccation naturelle des graines. (Compt. rend. de l'acad. des sc. de Paris, tom. CXVII, 1893, II, p. 1111.)  
Ref. B. C. 59. 148. — B. J. 22. 220.
241. Cuboni, G., La traspirazione e l'assimilazione nelle foglie trattate con latte di calce. (Malpighia, tom. I, 1887, p. 295.)  
Ref. B. J. 15. 209.
253. Curtel, G., Recherches physiologiques sur la transpiration et l'assimilation pendant les nuits norvégiennes. (Revue gén. de Botanique, tom. II, 1890, p. 7.)  
Ref. B. C. 42. 82. — B. J. 18. 63.
272. —, —, Recherches sur les variations de la transpiration de la fleur pendant son développement. (Compt. rend. de l'acad. des sc. de Paris, tom. CXIV, 1892, p. 847.)  
Ref. B. C. 51. 159.
388. Curtis, C., The work performed in transpiration and the resistance of stems. (Bull. Torrey Botan. Club. New-York, tom. XXVIII, 1901, p. 335.)  
Ref. B. C. 90. 326.
389. —, —, Some observations on transpiration. (Ebenda, tom. XXIX, 1902, p. 363.)
82. Czech, C., Über die Funktionen der Stomata. (Botan. Zeitung Bd. XXVII. 1869, p. 801.)
283. Daniel, L., De la transpiration dans la greffe herbacée. (Compt. rend. de l'acad. des sc. de Paris, tom. CXVI, 1893, I, p. 763.)  
Ref. B. C. 55. 206. — B. J. 21. 48.
329. Darwin, Fr., Observations on stomata by a new method. (Proc. of the Cambridge Philos. society, tom. IX, 1897, p. 303.)  
Ref. B. C. 77. 30. — B. J. 25. 102.
381. —, —, Observations on stomata. (Philos. Transact. R. Soc. of London. Ser. B., tom. CXC, 1898, p. 531.)  
Ref. B. C. 75. 114. — B. J. 26. 599.
30. Daubeny, Ch., On the action of light upon plants and of plants upon the atmosphaere. (Philos. Transact. R. soc. of London, tom. CXXVI, 1836, p. 149.)
78. Davy, M., Sur la transpiration des plantes. (Journal d'agriculture pratique, tom. II, 1869, p. 234.)

103. Davy, M., Note sur la quantité d'eau, consommé par le froment pendant sa croissance. (Compt. rend. de l'acad. des sc. de Paris, tom. LXXIX, 1874, p. 208.)
79. Dehérain, P., Sur l'évaporation de l'eau et la décomposition de l'acide carbonique par les feuilles des végétaux. (Ann. sc. nat. Bot. 5. ser., tom. XVII, 1869, p. 5.)
80. —, —, Sur l'évaporation de l'eau par les végétaux. (Compt. rend. de l'acad. des sc. de Paris tom. LXIX, 1869, p. 381.)
81. —, —, Sur l'influence, qu'exercent divers rayons lumineux sur la décomposition de l'acide carbonique et l'évaporation de l'eau par les feuilles. (Ebenda tom. LXIX, 1869, p. 929.)
120. —, —, Observations sur le memoire de M. Wiesner. (Ann. sc. nat. Bot. 6. sér., tom. IV, 1876, p. 177 und Annal. agronom. tom. III. Paris 1877, p. 244.)  
Ref. B. J. 5. 558.
150. —, —, Sur l'influence de l'acide carbonique sur la transpiration des végétaux. (Revue scientifique, tom. VIII. Paris 1878, p. 259.)  
Ref. B. J. 6. 183.
151. —, —, Recherches sur l'évaporation de l'eau par les feuilles des végétaux placées dans une atmosphère, renferment de l'acide carbonique. (Compt. rend. de l'assoc. franç. pour l'avancement des sciences. Paris 1878, p. 1048.)
183. —, —, Expériences sur l'influence, qu'exerce la lumière électrique sur le développement des végétaux. (Ann. agronom. tom. VII, Paris 1881, p. 551.)
129. D e t m e r, W., Beiträge zur Theorie des Wurzeldruckes. (Sammlung physiolog. Abhandlg. Herausgeg. von W. Preyer. I. Reihe, 8. Heft. Jena 1877.)  
Ref. B. J. 5, 538.
371. D e t t o, K., Über die Bedeutung der ätherischen Öle bei Xerophyten. (Flora, Bd. XCII. 1903, p. 489.)  
Ref. B. C. 92. 489.
387. Devaux, H., Recherches sur les lenticelles. (Ann. sc. nat. 8. ser. tom. XII, 1900, p. 1.)  
Ref. B. J. 28. 193.
96. Dietrich, Th., Über die durch unsere Kulturpflanzen verdunsteten Wassermengen. (Mittel. d. landwirtsch. Zentralver. für den Regierungsbezirk Cassel, 1872, p. 343.)
316. Dixon, H., Note of the rôle of osmosis in transpiration. (Read before the R. Irish Acad. 1896; Proceed. R. I. Acad. Dublin,

3. ser., tom. III, p. 767; ferner in: Notes from the Botan. school of Trinity Coll. Dublin, 1897, p. 35.)  
 Ref. B. C. Beiheft 1897. 421. — B. J. 24. 57.
317. Dixon, H., On the osmotic pressure in the cells of leaves. (Read before the R. Irish Acad. 1896; Proceed. R. I. Acad. Dublin, 4. ser., tom. III, p. 61; ferner in: Notes from the Botan. school of Trinity Coll. Dublin, 1897.)
330. — —, On the effects of stimulative and anaesthetic gases on transpiration. (Proceed. R. Irish Acad. Dublin, 3. ser., tom. IV, 1898, p. 618; ferner in: Notes from the Botan. school of Trinity Coll. Dublin, Nr. 3, 1898, p. 97.)  
 Ref. B. C. 76. 135. — B. J. 25. 78.
331. — —, Transpiration into a saturated atmosphere. (Proceed. R. Irish Acad. Dublin, 3. ser., tom. IV, p. 627; ferner in: Notes from the Botan. school of Trinity Coll. Dublin No. 3, 1898, p. 106.)  
 Ref. B. C. 76. 135. — B. J. 25. 78.
378. — —, A Transpiration model. (Scient. Proceed. of the Royal Dublin soc. N. S. Vol. X, Dublin 1903. p. 114.)
47. Duchartre, P., Recherches expérimentales sur les rapports des plantes avec l'humidité atmosphérique. (Compt. rend. de l'acad. des sc. de Paris, tom. XLII, 1856. p. 428.)
48. Duchartre, P., Observations sur la fanaison des plantes et sur les causes, qui la déterminent. (Bull. soc. bot. de France, tom. IV, 1857, p. 112.)
49. — —, Observations sur la transpiration des plantes pendant la nuit. (Ebenda tom. IV, 1857, p. 1024.)
54. — —, Recherches expérimentales sur la transpiration des plantes dans les milieux humides. (Ebenda tom. V, 1858, p. 105.)
55. — —, Recherches physiologiques, anatomiques et organographiques sur la Colocase des anciens, *Colocasia antiquorum*. (Ann. sc. nat. 4. ser., tom. XII, 1859, p. 232.)
24. Dutrochet H., L'agent immédiat du mouvement vital dévoilé dans la nature et dans son mode d'action chez les végétaux etc. (Paris 1826.)
32. — —, Des causes de la progression de la sève. Mém. pour servir à l'hist. anatomique et physiologique des végétaux et des animaux. (Paris, 1837, I, p. 389.)
206. Ebermayer, Th., Studien über das Wasserbedürfnis der Waldbäume. (Suppl. der allgem. Forst- und Jagdzeitung, Jahrgang XII, 1884.)  
 Ref. B. J. 12. 8.

244. Eberdt, O., Die Transpiration der Pflanzen und ihre Abhängigkeit von äußeren Bedingungen. (Marburg, Elwert, 1889.)  
Ref. B. C. 39. 257. — B. J. 17. 63.
249. —, —, Über das Pallisadenparenchym. — Einfluß der Transpiration und Assimilation. (Ber. Deutsch. Botan. Ges. Berlin, Bd. VI, 1888, p. 360, 371.)  
Ref. B. J. 16. 88.
297. —, —, Einwirkung innerer und äußerer Bedingungen auf die Transpiration der Pflanzen. („Prometheus“, Bd. VI, 1895, p. 70.)  
Ref. B. J. 23. 12.
298. —, —, Die Transpiration der Pflanzen. (Ebenda p. 513.)
308. —, —, Die Transpiration der Pflanzen als Maßstab ihrer Anbau-fähigkeit. („Prometheus“, Bd. VII, 1896, p. 746.)
367. Edelstein, W., Zur Kenntnis der Hydathoden an den Blättern der Holzgewächse. (Bull. de l'acad. des sc. de St. Pétersbourg, tom. XVII, 1902, p. 59.)
111. Eder, K., Untersuchungen über die Ausscheidung von Wasserdampf bei den Pflanzen. Inaug.-Dissert. der Kgl. Universität Leipzig. (Sitzb. d. K. Akad. der Wissensch. in Wien, Bd. LXXII, 1875, p. 241.)  
Ref. B. J. 4. 710.
121. Ernst, A., Botanische Miscellaneen. Tropfenausscheidung bei Calliandra Samam. (Botan. Ztg., Bd. XXXIV, 1876, p. 35.)  
Ref. B. J. 4. 713.
394. Escombe, F., vide Brown Nr. 394.
226. Errara, L., Ein Transpirationsversuch. (Ber. Deutsch. Botan. Ges. Berlin, Bd. IV, 1886, p. 16.)  
Ref. B. C. 26. 213.
366. Fabricius, M., Beiträge zur Laubblattanatomie einiger Pflanzen der Seychellen etc. (Inaug.-Dissert. Univers. Basel. — Jena (G. Fischer) 1902. Ferner Botan. C.-Blatt, Bd. XII. Beiheft 1902, p. 304.)
130. Farsky, F., Über die Wasserverdunstung von Korn, Gerste und Erbse. (Chemické listy, tom. I, Prag 1877.)
131. —, —, Von der Wasserverdunstung durch Pflanzen. (Ebenda; beide Abhandlungen czechisch.)
340. Ferruzza, G., Sulla traspirazione di alcune „Palme e succolenti“. Ricerche sperimentali (Contribuzioni alla Biologia vegetale, tom. II, fasc. 3. 1899, p. 211).  
Ref. B. J. 27. 124.

89. Fittbogen, J., Altes und Neues aus dem Leben der Gerstenpflanze. (Landwirtsch. Versuchsstationen, herausgeb. von Nobbe, Bd. XIII, 1871, p. 81.)
98. —, —, Untersuchungen über das für eine normale Produktion der Haferpflanze notwendige Minimum von Bodenfeuchtigkeit sowie über die Aufnahme von Bestandteilen des Bodens bei verschiedenem Wassergehalte desselben. (Landwirtsch. Jahrbücher von Nathusius und Thiel, Bd. II, Berlin 1873, p. 351.)  
Ref. B. J. 2. 755.
104. —, —, Über die Wasserverdunstung der Haferpflanze unter verschiedenen Wärme-, Licht- und Feuchtigkeitsverhältnissen. (Ebenda Bd. III, Berlin 1874, p. 141.)
132. —, —, Über die Beziehungen zwischen Wasserverdunstung und Assimilationstätigkeit der Pflanzen. (Landwirtsch. Vers.-Stationen, herausg. von Nobbe, tom. XXIII, 1879, p. 59.)
218. Fleischer, E., Die Schutzeinrichtungen der Pflanzenblätter gegen Vertrocknung. (16. Bericht über das K. Realgymnas. zu Döbeln. Döbeln 1885.)  
Ref. B. C. 22. 356.
72. Fleischmann, W. und Hirzel, G., Untersuchungen über den Hopfen. (Landwirtsch. Vers.-Stationen, herausg. von Nobbe, Bd. IX, 1867, p. 178.)
207. Gardiner, W., On the physiological significance of water glands and nectaries. (Proceed. of the Cambridge philos. society, tom. V, 1883—84, p. 35.)  
Ref. B. C. 19. 8.
38. Garreau, M., Recherches sur l'absorption et l'exhalation des surfaces aériennes des plantes. (Ann. sc. nat. Bot., 3. sér., tom. XIII, 1849, p. 321.)
36. Gärtner, C. F., Pflanzenphysiologische Beobachtungen besonders über das Tropfen aus den Blattspitzen der *Calla aethiopica*. (Flora, Jahrg. XXV, Beiblatt zu Bd. I, 1842, p. 1.)
356. Genau, K., Physiologisches über die Entwicklung von *Sauromatum guttatum*. (Österr. Bot. Zeitschrift, Bd. LI, 1901, p. 321.)  
Ref. B. C. 89. 154.
273. Geneau de Lamartière, L., Sur la respiration, la transpiration et le poids sec des feuilles développées au soleil et à l'ombre. (Compt. rend. de l'acad. des sc. de Paris, tom. CXV, 1892, p. 521.)  
Ref. B. C. 53. 148. — B. J. 20. 96 + 21. 26.



274. Geneau de Lamartière, L., Recherches physiologiques sur les feuilles développées à l'ombre et au soleil. VI. Transpiration. (Revue gén. de Botanique, tom. IV, 1892, p. 529.)  
Ref. B. C. 54. 19. — B. J. 20. 96.
39. Gilbert and Lawes, Experimental investigation into the amount of water given off by plants during their growth especially in relation to the fixation and source of their various constituents. (Journ. Horticult. soc. London, tom. V, 1850.)
40. —, —, Report of some experiments undertaken at the suggestion of Professor Lindley, to ascertain the comparative evaporating properties of evergreen and deciduous trees. (Ebenda, tom. VI, 1851.)
318. Giltay, E., Vergleichende Studien über die Stärke der Transpiration in den Tropen und im mitteleuropäischem Klima. (Jahrb. für wissenschaftl. Botanik, Bd. XXX, 1897, p. 615.)  
Ref. B. C. 74. 212. — B. J. 25. 76.
332. —, —, Die Transpiration in den Tropen und in Mitteleuropa II. (Ebenda, Bd. XXXII, 1898, p. 477.)  
Ref. B. J. 26. 571.
347. —, —, Die Transpiration in den Tropen und in Mitteleuropa. III. (Ebenda, Bd. XXXIV, 1890, p. 405.)  
Ref. B. J. 28. 276.
348. —, —, Nochmals über Transpiration in den Tropen und in Mitteleuropa. (Botan. Zentralblatt, Beiheft IX, 1900, p. 112.)
319. Goebel, K., Laboratoriumsnotizen. (Flora, Bd. LXXXIII, 1897, p. 75.)  
Ref. B. J. 25. 76.
320. —, —, Über die biologische Bedeutung der Blatthöhlen von Tozzia und Lathraea. (Ebenda, p. 444.)  
Ref. B. J. 25. 76.
227. Goebeler, E., Die Schutzvorrichtungen am Stammscheitel der Farne. (Flora, Bd. LXIX, 1886, p. 451.)  
Ref. B. C. 30. 260. — B. J. 14. 569.
34. Graf, R., Beobachtungen über das Erscheinen der Wassertropfen an den Blättern einiger Pflanzen. (Flora, Bd. XXIII, 1840, II. p. 433, p. 451.)
385. Griffon, Ed., Recherches sur la transpiration des feuilles vertes, dont on éclaire soit la face supérieur, soit la face inférieur. (Compt. rend. de l'Acad. d. sc. Paris, tom. CXXXVII, 1903, p. 529.)  
Ref. B. C. 90. 695.

6. Guettard, J. Steph., Mémoire sur la transpiration insensible des plantes. (Hist. de l'acad. royale des sciences. Paris. I. mémoire 1748, p. 569; II. mémoire 1749, p. 265.)
122. Guppenberger, L., Versuche über Pflanzentranspiration. (VII. Jahrb. des Vereines für Naturkunde in Österreich ob der Enns, Linz 1876, p. 1.)
233. Habedank, Bestimmung der relativen Verdunstungsgröße einiger Kulturpflanzen. (Insterburger Berichte, Jahrgang VI.)
23. Habenicht, L., Über die tropfbare Absonderung des Wassers aus den Blättern von *Calla aethiopica*. (Flora, 16. Jahrg., tom. II, 1823, p. 529.)
123. Haberlandt, Friedrich, Über die Transpiration der Gewächse, insbesondere jene der Getreidearten. (Landw. Jahrbücher von Nathusius und Thiel, Bd. V, 1876, p. 63.)  
Ref. B. J. 4. 712.
133. —, —, Das Austrocknen abgeschnittener und benetzter, sowie abgeschnittener und nicht benetzter grüner Blätter und Pflanzenteile. (Wissensch. prakt. Unters. auf dem Gebiete des Pflanzenbaues, herausg. von Fr. Haberlandt, Bd. II, Wien 1877, p. 130.)  
Ref. B. J. 5. 531.
134. —, —, Über die Größe der Transpiration unserer Kulturpflanzen. (Ebenda, p. 146.)  
Ref. B. J. 5. 530.
112. —, Gottlieb, Beiträge zur Kenntnis der Lenticellen. (Sitzb. d. K. Akad. der Wissensch. in Wien, Bd. LXXII, 1875, p. 175.)  
Ref. B. J. 3. 767.
135. —, —, Die Schutzrichtungen in der Entwicklung der Keimpflanze. (Wien, C. Gerolds Sohn, 1877.)  
Ref. B. J. 5. 523 + 579.
228. —, —, Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Laubmoose. (Jahrb. f. wissenschaft. Botanik Bd. XVII, Berlin 1886, p. 359.)  
Ref. B. J. 14. 508.
275. —, —, Anatomisch-physiologische Untersuchungen über das tropische Laubblatt. (Sitzb. d. K. Akad. der Wissensch. in Wien, Bd. CI, 1892, p. 785.)  
Ref. B. C. 54. 170. — B. J. 20. 85.
288. —, —, Über Wasser ausscheidende und absorbierende Organe des tropischen Laubblattes. (Ber. d. 66. Versamml. deutscher Naturf. und Ärzte in Wien 1894.)  
Ref. B. C. 60. 166. — B. J. 22. 456.

289. Haberlandt, Gottlieb, Über Bau und Funktion der Hydathoden. (Ber. Deutsch. Botan. Gesellsch., Bd. XII, 1894, p. 367.)  
Ref. B. C. 64. 344. — B. J. 22. 470.
290. —, —, Anatomisch-physiologische Untersuchungen über das tropische Laubblatt. II. Über Wasser sezernierende und absorbierende Organe. [I. Abt.] (Sitzb. d. K. Akad. der Wissensch. in Wien, Bd. CIII, 1894, p. 489.)  
Ref. B. C. 65. 27. — B. J. 22. 470 + 23. 95.
299. —, —, Anatomisch-physiologische Untersuchungen etc. [2. Abt.] (Ebenda, Bd. CIV, 1895, p. 55.)  
Ref. B. C. 65. 26. — B. J. 20. 470.
321. —, —, Zur Kenntnis der Hydathoden. (Jahrb. für wissenschaft. Botan., Bd. XXX, Berlin 1897, p. 511.)  
Ref. B. C. 71. 278.
333. —, —, Über die Größe der Transpiration im feuchtem Tropenklima. (Ebenda, Bd. XXXI, 1898, p. 273.)  
Ref. B. C. 74. 213. — B. J. 25. 77.
334. —, —, Bemerkungen zur Abhandlung von Otto Spanjer: „Untersuchungen über die Wasserapparate der Gefäßpflanzen“. (Botan. Zeitung, Bd. LVI, 1898, p. 177).
- 334a. —, —, „Erwiderung“. (Ebenda, p. 315.)
341. —, —, „Erwiderung“ (contra Giltay). (Jahrb. für wissenschaft. Botanik, Bd. XXXIII, 1899, p. 166.)  
Ref. B. J. 26. 572.
5. Hales, Stefan, Vegetable statics, or on account of some statical experiments on the sap in vegetables. (London 1727.)  
[Davon eine französische Übersetzung von Buffon (Paris 1734), eine deutsche Übersetzung mit einer Vorrede von Wolff (Halle 1748), eine italienische Übersetzung von Ardinghelli (Neapel 1756).]
374. Hall, A., D., Simple apparatus for the measurement of transpiration from a shoot. (Ann. of Bot. Oxford, tom. XV, 1901, p. 558.)  
Ref. B. J. 29. 196.
7. Duhamel du Monceau, La physique des arbres où il est traité de l'anatomie des plantes et de l'économie végétale. (Paris 1758.)  
[Davon eine deutsche Übersetzung von Chr. Oelhafen von Schöllnbach (Nürnberg 1764).]
197. Hartig, Robert, Die Wasserverdunstung und Wasseraufnahme der Baumzweige im winterlichen Zustande. (Sitzungsber.

des botan. Vereins in München 1883. — Flora, Bd. LXVI, 1883, p. 361.)

Ref. B. C. 15. 92. — B. J. 11. 6.

41. Hartig, Theodor, Freiwilliges Blüten der Hainbuche. (Botan. Zeitung, Bd. XI, 1853, p. 478.)
42. —, —, Über wässrige Ausscheidungen durch die Pflanzenblätter. (Ebenda, Bd. XIII, 1855, p. 911.)
63. —, —, Über die Bewegung des Saftes in den Holzpflanzen. (Ebenda, Bd. XIX, 1861, p. 17.)
66. —, —, Verdunstung von Zweigspitzen im unbelaubten Zustande. (Ebenda, Bd. XXI, 1863, p. 261.)
67. —, —, Über den Einfluß der Verdunstung auf die Hebung des Pflanzensaftes. (Ebenda, tom. XXI, 1863, p. 302.)
124. —, —, Beiträge zur Physiologie der Holzpflanzen, IV. Über die Verdunstungsgröße junger Holzpflanzen. (Allgem. Forst- und Jagdzeitung, herausg. von H e y e r. N. F. Jahrg. LII, Frankfurt a. M., 1876, p. 41.)
152. —, —, Über Verdunstung. (Ebenda, N. F. Jahrg. LIV, Frankfurt a. M., 1878.)
11. Hedwig, J., Von den Ausdünstungswegen der Gewächse. (Samml. zerstreuter Abh. über botanisch-ökonomische Gegenstände, Bd. I, Leipzig, 1793, p. 116.)
105. Heinrich, R., Über das Vermögen der Pflanzen, den Boden an Wasser zu erschöpfen. (Ber. über die 47. Vers. deutscher Naturf. und Ärzte in Breslau 1874. Sektion für Agrikulturchemie.)
- Ref. B. J. 2. 843.
384. —, —, Über die Wassermengen, welche die Haferpflanze aus verschiedenen Nährstoffkonzentrationen während ihrer Vegetationszeit verbraucht. (II. Ber. des Landwirtsch. Versuchsstat. in Rostock, 1894, p. 170.)
90. Hellriegel, H., Wieviel Wasser beanspruchen unsere Getreidearten zur Produktion einer vollen Ernte? (Amtl. Vereinsblatt d. landwirtschaftl. Provinzialvereines f. die Mark Brandenburg etc. 1871.)
198. —, —, Beiträge zu den naturwissenschaftlichen Grundlagen des Ackerbaues. Braunschweig (Vieweg) 1883. IV. Wasser.
- Ref. B. C. 16. 109. — B. J. 11. 17.
219. Henslow, G., On vernalion and the method of development of foliage as protective against radiation. (Journ. of the Linnean soc., Botany, tom. XX, London 1885, p. 624.)

229. Henslow, G., A contribution to the study of the relative effects of different parts of the solar spectrum on the transpiration of plants. (Journ. of the Linnean Soc., Botany, tom. XXII, London 1886, p. 81.)  
Ref. B. C. 25. 144.
240. —, —, Transpiration as a function of living protoplasm; II. Transpiration and III. Evaporation in a saturated atmosphere. (Ebenda, tom. XXIV, 1887—88.)  
Ref. B. C. 38. 452.
392. Hesselmann, H., Zur Kenntnis des Pflanzenlebens schwedischer Laubwiesen. IX. Versuch über die Transpiration auf sonnenoffenen Wiesen etc. (Mitteil. a. d. botan. Inst. d. Univers. Stockholm; Botan. Centralbl. Beihefte, Bd. XVII, 1904, p. 311.)
250. Hinz, R., Über den mechanischen Bau des Blattrandes mit Berücksichtigung einiger Anpassungserscheinungen zur Verminderung der lokalen Verdunstung. (Abh. d. k. Leopold.-Carol. Akad. d. Naturforscher, Bd. LIV, 1889, p. 93.)  
Ref. B. C. 42. 50. — B. J. 17. 684.
72. Hirzel, G., vide Fleischmann.
91. Hoffmann, H., Untersuchungen über die Bilanz der Verdunstung und des Niederschlages. (Zeitschr. d. österr. Gesellsch. für Meteorologie, Bd. VI, 1871, p. 177.)
136. Höhnel, F. v., Über das Welken abgeschnittener Sprosse. (Wissensch. prakt. Unters. auf dem Gebiete des Pflanzenbaues, herausg. v. Fr. Haberlandt, Bd. II, Wien 1877, p. 120.)  
Ref. B. J. 5. 532.
153. —, —, Über den Gang des Wassergehaltes und der Transpiration bei der Entwicklung des Blattes. (Wollny, Forschungen a. d. Geb. der Agrikulturphysik, Bd. I, 1878, p. 299.)  
Ref. B. J. 6. 182.
166. —, —, Über die Transpirationsgröße der forstlichen Holzgewächse mit Beziehung auf die forstlich-meteorologischen Verhältnisse. (Mitt. a. d. forstlichen Versuchswesen Österreichs, Bd. II, Wien 1879.)  
Ref. B. C. 1. 49. — B. J. 7. 222. + 401.
167. —, —, Über die Wasserverbrauchsmengen unserer Forstbäume mit Beziehung auf die forstlich meteorologischen Verhältnisse. (Wollny, Forsch. a. d. Gebiete der Agrikulturphysik, Bd. II, 1879, p. 398.)  
[Ein längerer Auszug aus der Abhandlung Nr. 166.]  
Ref. B. C. 1. 49. — B. J. 7. 222.

168. Hö h n e l, F., Über die Transpirationsgröße der forstlichen Holzgewächse mit Beziehung etc. (Zeitschr. d. österr. Gesellsch. für Meteorologie, Bd. XIV, Wien 1879, p. 286.)  
[Ein Auszug aus der Abhandlung Nr. 166.]
174. —, —, Weitere Untersuchungen über die Transpirationsgröße der forstlichen Holzgewächse. (Mitteil. a. d. forstlichen Versuchswesen Österreichs, Bd. II, Wien 1880.)  
Ref. B. J. 8. 241.
184. —, —, Über den Wasserverbrauch der Holzgewächse mit Beziehung auf die meteorologischen Faktoren. (Wollny, Forsch. a. d. Gebiete der Agrikulturphysik, Bd. IV, 1881, p. 435.)  
Ref. B. C. 9. 311. — B. J. 9. 11.
365. H o l t e r m a n, K., Anatomisch-physiologische Untersuchungen in den Tropen. — Die Transpiration der Pflanzen in den Tropen. (Sitzb. d. kgl. preuß. Akad. d. Wissensch. Berlin, Bd. XXX, 1902, p. 656.)  
Ref. B. C. 90. 228.
137. H o r w a t h, A., Beiträge zur Lehre über die Wurzelkraft. (Straßburg, Trübner, 1877.)  
Ref. B. J. 5. 539.
77. H o s a e u s, Über die Wasserverdunstung einiger Kulturpflanzen. (Ann. d. Landwirtschaft . . .)
208. J o h o w, F., Über die Beziehungen einiger Eigenschaften der Laubblätter zu den Standortverhältnissen. (Jahrb. f. wissenschaftl. Botanik, Bd. XV, Berlin 1884, p. 282.)  
Ref. B. C. 19. 353. — B. J. 12. 28.
234. J o l y, Exhalation de la sève aqueuse chez le *Richardia africana*. (Mém. de l'acad. des sc. de Toulouse, 7. ser., tom. V, 18., p. 448.)
50. J o o, St., Etwas vom Taue. (Österr. Botan. Wochenblatt, Jahrg. VII, Wien 1857, p. 112.)
243. J u m e l l e, H., Assimilation et transpiration chlorophylliennes. (Revue gén. de Botanique, tom. I, 1889, p. 37.)  
Ref. B. C. 42. 82. — B. J. 17. 25.
254. J u m e l l e, H., Influence comparée des anaesthétiques sur l'assimilation et la transpiration chlorophylliennes. (Compt. rend. de l'Acad. des sc. de Paris, tom. CXI, 1890, II, 461.)  
Ref. B. C. Beiheft 1891. 35. — B. J. 18. 6.

255. Jumelle, H., Influence des anaesthétiques sur la transpiration des végétaux. (Revue gen. de Botanique, tom. II, Paris 1890, p. 417.)  
Ref. B. C. Beiheft 1891. 35. — B. J. 18. 6.
266. —, —, Nouvelles recherches sur l'assimilation et la transpiration chlorophylliennes. (Ebenda, tom. III, Paris 1891, p. 241.)  
Ref. B. C. 49. 139.
106. Just, L., Untersuchungen über den Widerstand, den die Hautgebilde der Verdunstung entgegenstellen. (Mitt. aus d. pflanzenphysiol. und agrikul. Labor. des Polytechn. Inst. zu Karlsruhe, 1874, p. 11.)  
Ref. B. J. 2. 756.
352. Keeble, F. W., The hanging foliage of certain tropical trees. (Annales of Botany, tom. IX, 1895, p. 59.)  
Ref. B. C. 65. 389. — B. J. 23. 31 + 281.
251. Keller, R., Die Transpiration der Pflanzen und ihre Abhängigkeit von äußeren Bedingungen. (Biolog. Centralblatt, Bd. IX, 1889, p. 449.)  
Ref. B. C. 43. 299.
349. —, —, Die Verdunstung der Pflanzen. (Mitteil. d. naturforsch. Gesellsch. in Winterthur, Bd. II, 1900.)
199. Klebahn, H., Über die Struktur und die Funktionen der Lenticellen etc. (Ber. d. Deutsch. Botan. Gesellsch. in Berlin, Bd. I, 1883, p. 113.)  
Ref. B. C. 14. 365. — B. J. 11. 179.
209. —, —, Die Rindenporen. Ein Beitrag zur Kenntniss des Baues und der Funktion der Lenticellen und der analogen Rindenbildungen. (Jena'sche Zeitschr. f. Naturwissensch., Bd. XVII, N. F. Bd. X, Jena 1884.)  
Ref. B. C. 18. 236. — B. J. 12. 419.
256. —, —, Die Transpiration der Pflanzen. („Humboldt“ 1890, p. 186.)  
Ref. B. J. 18. 6.
16. Knight, Th. A., Account of some experiments on the descent of the sap in trees. (Philos. Transact. of the R. society of London 1803, II parts, p. 277.)
56. Knop, W., Ein Vegetationsversuch. (Landwirtschaftl. Vers.-Stationen von Nobbe, Bd. I, 1859, p. 181.)
68. —, —, Einige Bestimmungen der Quantitäten Wasser, welche die Pflanzen durch die Blätter verdunsten. (Ebenda, Bd. VI, 1864, p. 239.)

353. Kny, L., Über die Aufnahme tropfbar flüssigen Wassers durch winterlich entlaubte Zweige von Holzgewächsen. (Ber. d. Deutsch. Botan. Gesellsch. Berlin, Bd. XIII, 1895, p. 59.)  
Ref. B. C. 66. 125. — B. J. 23. 11.
230. Kohl, F. G., Die Transpiration der Pflanzen und ihre Einwirkung auf die Ausbildung pflanzlicher Gewebe. (Braunschweig, H. Bruhn, 1886.)  
Ref. B. C. 28. 292. — B. J. 14. 43.
322. Kooders, S. H., Über die Blütenknospen Hydathoden einiger tropischer Pflanzen. (Inaug.-Dissert. der Universität Bonn. — E. J. Brill, Leyden 1897.)  
Ref. B. C. 72. 36.
220. Kraus, C., Über Blutung aus parenchymatischen Geweben. (Botan. Zentralblatt, Cassel, Bd. XXI, 1885, p. 212.)  
Ref. B. J. 13. 9.
221. Kraus, G., Über die Blütenwärme von *Arum italicum*. Zweite Abh. (Abhandl. d. Naturforsch. Gesellsch. zu Halle, Bd. XVI, Halle, 1885.)  
Ref. B. C. 22. 163. — B. J. 12. 90.
300. Kröber, E., Ist die Transpirationsgröße der Pflanzen ein Maßstab für ihre Anbaufähigkeit? (Landwirtsch. Jahrb., Bd. XXIV, 1895, p. 503.)  
Ref. B. C. Beiheft 1896, 330.
154. Krutitzky, P., Beschreibung eines zur Bestimmung der von den Pflanzen aufgenommenen und verdunsteten Wassermenge dienenden Apparates. (Botan. Zeitung, Bd. XXXVI, 1878, p. 161.)  
Ref. B. J. 6. 184.
175. —, —, Dwyshenia wody w raste nijach (Wasserbewegung in den Pflanzen; russisch). (Sitzb. d. botan. Sektion der St. Petersburger Naturforsch. Gesellsch. 1880.)  
Ref. B. J. 10. 7.
342. Kusano, S., Transpiration of evergreen trees in Winter 1901. Journ. of the college of sc. J. university Tokio, tom. XV, 1901, p. 313.)  
Ref. B. C. 80. 171. — B. J. 27. 124.
235. Laker, Die Abscheidung von Wasserdampf bei den Pflanzen. (Jahresb. d. akad. naturwissensch. Vereins, Jahrg. V, 18..)
169. Langer, K., Beobachtungen über die sogenannten Wasserporen. (Österr. Botan. Zeitschr. Wien, Bd. XXIX, 1879, p. 79.)
39. Lawes: vide Gilbert Nr. 39.
40. Lawes: vide Gilbert Nr. 40.



335. Leavitt, R., A psychrometer applicable to the study of transpiration. (American Journ. of sc. 4. ser., tom. V, New Haven 1898, p. 440.)  
Ref. B. J. 26. 572.
200. Leclerc, A., De la transpiration dans les végétaux. (Ann. sc. nat. Bot., 6. ser., tom. XVI, 1883, p. 231.)  
Ref. B. C. 17, 132. — B. J. 11, 9.
210. —, —. De la transpiration chez les végétaux. (Ann. de la soc. agronom. France et étrangère, tom. I, 1884.) Im wesentlichen derselbe Inhalt wie Nr. 200.
257. Leist, K., Über den Einfluß des alpinen Standortes auf die Ausbildung der Laubblätter. (Mitteil. d. naturforsch. Gesellsch. in Bern 1890, p. 159.)  
Ref. B. C. 42. 118.
379. Leitgeb, H., Beiträge zur Physiologie der Spaltöffnungsapparate. (Mitteil. des Botan. Instit. Graz, Bd. I. 1886. p. 123.)  
Ref. B. C. 28. 261. — B. J. 14. 61.
368. Lepeschkin, W., Über die Bedeutung der Wasser absondernden Organe für die Pflanzen. (Flora Bd. XC. 1902 p. 42.)  
Ref. B. C. 89. 190.
291. Lesage, P., Etudes sur les variations des pallasades dans les feuilles. Concordance entre une augmentation du tissu palissadique et un excès de transpiration. (Bull. soc. scientifique et médicale de l'ouest. Rennes, tom. III, 1894, p. 89.)
292. —, —, Sur les rapports des palissades dans les feuilles avec la transpiration. (Compt. rend. de l'acad. des sc. de Paris, tom. CXVIII, 1894, p. 255.)  
Ref. B. C. 60. 344. — B. J. 22. 220.
125. Liebenberg, A., Wassererschöpfende Kraft der Pflanzenwurzeln und Kondensationsvermögen verschiedener Bodenarten. (Landwirtsch. Zentralblatt für Deutschland, Jahrg. 1876, p. 419.)
376. Mac Dougal, D. T., Transpiration and temperatures [ex plant life in North-American deserts.] (Desert Botan. Laboratory of the Carnegie Institution, Washington 1903, p. 38.)
323. —, —, A convenient potometer. (The Botanical Gazette, London, tom. XXIV, 1897, p. 110.)  
Ref. B. J. 25. 79.
258. Mac Milan, C., Anaesthetics and transpiration. (The Botanical Gazette, London, 1890, p. 28.)

93. MacNab, W. R., Experiments on the transpiration of watery fluid by leaves. (Transact. and Proceed. of the botan. soc. of Edinburgh, tom. XI, 1871, p. 45.)
196. Mangin, L., vide Bonnier Nr. 196.
205. Mangin, L., vide Bonnier Nr. 205.
211. Marcano, V., Recherches sur la transpiration des végétaux sous les tropiques. (Compt. rend. de l'acad. des sc. de Paris, tom. XCIX, 1884, p. 53 und Annales agronomiques, tom. X, 1884, p. 477.)  
Ref. B. J. 12. 16.
4. Mariotte, E., Essais de physique. (Paris 1676—79.) I. Essai de la végétation des plantes. — Ferner Oeuvres de Mariotte. (Leide 1717, I, p. 121.)
10. Martino, J. B. . . . (Giornale encyclop. di Vicenza 1791?)  
Ref. Senebier, physiol. végét., IV, 68; Unger, Exantheme p. 55.
176. Masure, F., Recherches sur l'évaporation de l'eau libre, de l'eau contenue dans les terres arables et sur la transpiration des plantes. (Annal. agronomiques, Paris, tom. VI, 1880, p. 441.)  
Ref. B. C. 6. 307. — B. J. 8. 242 + 9. 11.
350. Maxwell, W., Bodenausdunstung und Pflanzentranspiration. (Landw. Vers.-Stationen von Nobbe, Bd. LI, 1900.)  
Ref. B. C. Beiheft 1900, 175.
113. Mayer, Ad., Studien über die Wasserverdichtung im Boden. (Fühling, landwirtsch. Zeitung, Jahrg. XXIV, 1875, p. 87.)
336. Meyer, Ar., Kritische Besprechungen von G. Haberlandt's Bemerkungen zur Abhandlung von Otto Spanjer. (Botan. Zeitung, Bd. LVI, 1898, p. 241.)
9. Méese, B. Ch., Suite des expériences sur l'influence de la lumière sur les plantes. (Journal de physique ed. par Rozier, tom. VII, Paris 1776.)
138. Merget, A., Sur les fonctions des feuilles dans les phénomènes d'échanges gazeux entre les plantes et l'atmosphère; rôle des stomates. (Compt. rend. de l'acad. des sc. de Paris, tom. LXXXIV, 1877, p. 376.)  
Ref. B. J. 5. 525.
155. —, —, Sur le rôle des stomates dans les phénomènes d'inhalation et d'exhalation. (Compt. rend. de l'assoc. franç. pour l'avancement des sciences, Paris 1878, p. 644.)
156. —, —, Des fonctions des feuilles dans le phénomène des échanges gazeux entre les plantes et l'atmosphère. (Compt.

- rend. de l'acad. des sc. de Paris, tom. LXXXVI, 1878, p. 1492.)  
Ref. B. J. 6. 185.
157. Merget, A., Sur les fonctions des feuilles. Rôle des stomates dans l'exhalation et dans l'inhalation des vapeurs aqueuses par les feuilles. (Compt. rend. de l'acad. des sc. de Paris, tom. LXXXVII, 1878, p. 293.)
170. —, —, Recherches sur la transpiration des végétaux et le rôle des feuilles dans le phénomène. (Ann. de la soc. agricult., hist. nat., et arts utiles de Lyon, 5. ser., tom. I, 1878, p. 75.)
382. —, —, Recherches sur la transpiration des végétaux et le rôle des feuilles dans ce phénomène. (Annal. de l. soc. d'agriculture de Lyon, 1878.)
201. Meschayeff, V., Über die Anpassungen zum Aufrechterhalten der Pflanzen und die Wasserversorgung bei der Transpiration. (Bull. de la soc. imp. des Naturalistes de Moscou 1882, Nr. 4, Moskau 1883.)  
Ref. B. C. 15. 71. — B. J. 12. 16.
44. Mettenius, Filices horti botanici Lipsiensis. (Leipzig 1856, p. 9.)
281. Mikosch, C., vide Zöebl Nr. 281.
343. Minden, M., Beiträge zur anatomischen und physiologischen Kenntnis Wasser sezernierender Organe. (Bibliotheca botanica, Heft 46, 1899.)  
Ref. B. J. 27. 247.
33. Miquel, F. A., Quelques expériences pour déterminer l'influence de la lumière sur l'exhalaison aqueuse des feuilles et sur la succion par les tiges des plantes. (Bull. des sc. phys. en Néerlande, tom. I.)  
Ref. Ann. sc. nat. Bot., 2. ser., tom. XI, 1839.
37. Mohl, H., Über das Vermögen der lebenden Pflanze, die Verdunstung des Zellsaftes zu beschränken. (Botan. Zeitung, Bd. V, 1846, p. 321.)
45. —, —, Welche Ursachen bewirken die Erweiterung und Verengung der Spaltöffnungen? Ebenda, Bd. XIV, 1856, p. 697.)
237. Molisch, H., Untersuchungen über Laubfall. (Sitzb. der K. Akad. der Wissensch. in Wien, Bd. XCIII, 1886, p. 148.)  
Ref. B. C. 27. 318. — B. J. 14. 488.
373. —, —, Untersuchungen über das Erfrieren der Pflanzen. (Jena, G. Fischer, 1897.)  
Ref. B. C. 73. 149. — B. J. 25. 162.

372. Molisch, H., Das Hervorspringen von Wassertröpfchen an der Blattspitze von *Colocasia nymphaefolia*. (Ber. Deutsch. Botan. Ges., Bd. XXI, 1903, p. 381.)  
Ref. B. C. 93. 587.
177. Moll, J. W., Über Tropfenausscheidung und Injektion bei Blättern. (Botan. Zeitung, Bd. XXXVIII, 1889, p. 49.)  
Ref. B. C. 2. 547. — B. J. 8. 239.
185. —, —, Over het droppelen en de injectie van bladren. (Niederlandsch krutkundig Archief, 2. ser., 3. deel, 1881.)  
Ref. B. J. 9. 6.
73. Müller, Alex., Über Getreidetrocknung. (Landwirt. Vers.-Stationen von Nobbe, Bd. X, 1868, p. 188.)
276. —, H., Die Transpirationsgröße der Pflanzen als Maßstab ihrer Anbaufähigkeit. (Mittelteil der Thurgauischen naturforsch. Gesellsch. Frauenfeld 1892.)  
Ref. B. C. 54. 347. — B. J. 20. 86.
85. —, N. J. C., Über den Durchgang von Wasserdampf durch die geschlossene Epidermiszelle. (Jahrb. für wissensch. Botanik, Berlin, Bd. VII, 1869—70, p. 193.)
139. —, —, Die Verdunstungsgröße verschiedener Pflanzenblätter. (Botan. Unters. von N. J. C. Müller, Bd. I, Heidelberg 1877, p. 155.)
140. —, —, Beziehungen zwischen Verdunstung, Gewebespannung und Druck im Inneren der Pflanze. (Ebenda, p. 21.)
1. Muntingh, Waare Oeffening der planten. (Amsterdam 1672.)  
Ref. Flora, 7. 1824, 94.
3. Muschembroek, Cours de physique.  
Ref. Unger, Exantheme, p. 57.
71. Musset, De éjaculation de la sève aqueuse dans les feuilles du *Colocasia esculenta*. (Compt. rend. de l'Acad. des sc. de Paris, tom. LXI, 1865, II, p. 683.)
344. Nabokich, A., Über die Funktion der Luftwurzeln. (Botan. Zentralblatt, Cassel, Bd. LXXX, 1899, p. 331.)  
Ref. B. J. 27. 153.
62. Nägeli, C., Über die Verdunstung an der durch Korksubstanz geschützten Oberfläche von lebenden und toten Pflanzenteilen. (Sitzb. d. Kgl. bayer. Akad. der Wissensch. München, Bd. I, 1861, p. 238.)
301. Nestler, A., Kritische Untersuchungen über die sogenannten Wasserspalten. (Abh. d. Kais. Leopold-Carol. Akad. d. Naturf., Bd. LXIV, 1895, p. 139.)  
Ref. B. C. 63. 75.

309. Nestler, A., Untersuchungen über die Ausscheidung von Wassertropfen an den Blättern. (Sitzb. der k. Akad. der Wissensch. in Wien, Bd. CV, 1896, p. 521.)  
Ref. B. C. 69. 243. — B. J. 24. 57.
310. —, —, Über das Ausscheiden von tropfbar flüssigem Wasser an Blättern. (Ber. der botan. Sektion der 68. Vers. deutsch. Naturf. u. Ärzte, Frankfurt a. M. 1896.)  
Ref. B. C. 68. 170. — B. J. 24. 58.
324. —, —, Die Ausscheidung von Wassertropfen an den Blättern der Malvaceen und anderer Familien. (Sitzb. d. k. Akad. der Wissensch. in Wien, Bd. CVI, 1897, p. 387.)  
Ref. B. C. 59. 243. — B. J. 25. 76.
345. —, —, Zur Kenntnis der Wasserausscheidung an den Blättern von *Phaseolus multiflorus* und *Boehmeria*. (Ebenda, Bd. CVIII, 1899, p. 690.)
346. —, —, Die Sekretröpfchen an den Laubblättern von *Phaseolus multiflorus* und der Malvaceen. (Ber. d. Deutsch. Botan. Gesell. Berlin, Bd. XVII, 1899, p. 332.)  
Ref. B. C. 82. 177. — B. J. 27. 125.
25. Neuffer, W., Untersuchungen über die Temperaturänderungen der Vegetabilien und verschiedene, damit in Beziehung stehende Gegenstände. (Inaug.-Dissert. d. Univers. Tübingen 1829.)
69. Nobbe, F. und Siegert, Th., Beiträge zur Pflanzenkultur in wässerigen Nährstofflösungen. (Landw. Versuchsstationen von Nobbe, Bd. VI, 1864, p. 19.)
186. Nobbe, F., Über den Wasserverbrauch zweijähriger Erlen unter verschiedenen Beleuchtungsbedingungen. (Ebenda, Bd. XXVI, 1881, p. 354.)  
Ref. B. J. 9. 12.
212. Nobbe, F., Baeßler, P., Will, H., Untersuchung über die Giftwirkung des Arsen, Blei und Zink im pflanzlichen Organismus. (Ebenda, Bd. XXX, 1884, p. 381.)  
Ref. B. C. 22. 36. — B. J. 12. 59.
357. Noll, F., Vorlesungsnotiz zur Biologie der Sukkulenten. (Flora, Bd. LXXVII, 1893, p. 353.)
369. Oels, W., Über die Bedeutung der Transpiration für die Pflanzen. (Naturw. Wochenschrift, herausg. von Potonié, G. Fischer, Jena, Bd. XVIII [N. F. Bd. II], 1902, p. 115.)
213. Oltmanns, F., Über die Wasserbewegung in der Moospflanze und ihr Einfluß auf die Wasserverteilung im Boden. (Inaug.-

- Diss. d. Univ. Straßburg, Breslau 1884; ferner in Cohn, Beitr. z. Biologie der Pflanzen, Bd. IV, 1884.)  
Ref. B. C. 22. 7. — B. J. 12. 17.
115. Pacher, J., vide Wiesner Nr. 115.
383. Pagnoul, A., Essais relatifs à la transpiration des plantes. (Station agronom. du Pas de Calais; Bulletin de l'année 1898, p. 10.)
259. Palladin, W., Transpiration als Ursache der Formänderung etiolierter Pflanzen. (Ber. d. Deutsch. Botan. Ges. Berlin, Bd. VIII, 1890, p. 364; eine vorläufige Mitteilung in Arb. der Naturforscherges. in Charkow (russisch), 23. Bd., 1889.)  
Ref. B. C. 47. 182. — B. J. 18. 16.
386. Perlitius, L., Einfluß der Begrannung auf die Wasserverdunstung der Ähren und die Kornqualität. (Deutsch. landwirtsch. Presse, 1903, p. 450.)  
Ref. B. C. 93. 141.
87. Pfaff, F., Über den Betrag der Verdunstung einer Eiche während der ganzen Vegetationsperiode. (Sitzber. der Kgl. bayer. Akad. der Wissensch. München, Bd. I, 1870, p. 27.)
15. Plenck, J., Physiologia et pathologia plantarum. Viennae 1794. — (Davon eine französische Übersetzung von P. Chanin, Paris 1802.)
302. Poljanec, L., Über die Transpiration der Kartoffel. (Österr. Botan. Zeitschr., Jahrg. XLV, 1895, p. 369.)  
Ref. B. C. 65. 390. — B. J. 23. 12.
95. Prantl, K., Die Ergebnisse der neueren Untersuchungen über die Spaltöffnungen. (Flora, Bd. LV, 1872, p. 305.)
13. Prevost, . . . .  
Ref. in Senebier, *Physiol. végét.* IV, p. 87.
277. Prunet, A., Sur les modifications de l'absorption et de la transpiration, qui surviennent dans les plantes atteintes par la gelée. (Compt. rend. de l'acad. des sc. de Paris, tom. CXV, 1892, p. 964.)  
Ref. B. C. Beiheft 1893, 195. — B. J. 21. 15.
107. Ramey, E., Sur la sécrétion aqueuse d'un Amorphophallus. (Bull. soc. Linnéenne de Paris, 1874, p. 29.)  
Ref. B. J. 2, 756.
267. Rathay, E., Über eine merkwürdige durch den Blitz an *Vitis vinifera* hervorgerufene Erscheinung. (Denkschr. der K. Akad. d. Wissensch. in Wien, Bd. LVIII, 1891, p. 585.)  
Ref. B. C. 46. 380. — B. J. 19. 225.

187. Reinitzer, F., Über die physiologische Bedeutung der Transpiration. (Sitzb. d. K. Akad. d. Wissensch. in Wien, tom. LXXXIII, 1881, p. 11.)  
Ref. B. C. 5. 262. — B. J. 9. 11.
268. Rennoux, C. G., Théorie nouvelle du phénomène de la rosée ou rôle de la transpiration végétale dans la production de la rosée. (Rev. scientifique du Bourbonnais et du centre de la France 1891.)
362. Reynolds, R., The effect of bloom on the transpiration of leaves. (Bull. of Oberlin Coll. Labor, tom. IX, 1898, p. 1.)
377. Ricôme, H., Influence du chlorure de sodium sur la transpiration et l'absorption de l'eau chez les végétaux. (Compt. rend. de l'Acad. d. sc. Paris, tom. CXXXVII, 1903, p. 141.)  
Ref. B. C. 93. 223.
92. Risler, Eug., Recherches sur l'évaporation du sol et des plantes. (Arch. des sc. phys. et nat. de la Biblioth. univ. Genève, 1871. Sep.-Abdr. 2. Aufl. 1879.)
114. Robert, E., Note sur les gouttelets d'eau, dont le froment et les prêtes sont recouverts le matin. (Compt. rend. de l'acad. des sc. de Paris, tom. LXXX, 1875, I, p. 1612.)
75. Rosanoff, S., Heteromorphismus der Spaltöffnungen und Wasserausscheidung der Blätter. (Zweite russische Naturforscherversammlung, 1869.)
76. —, —, Wasserausscheidung der Aroideen. (Ebenda.)
325. Rosenberg, O., Über die Transpiration der Halophyten. (Ofversigt af Kongl. Vetenskaps Akad. Förhandl. Stockholm, 1897, p. 531.)  
Ref. B. C. 75. 241. — B. J. 25. 103.
351. —, —, Über die Transpiration mehrjähriger Blätter. (Meddelanden fram Stockholms Högskola Nr. 201. Oftversigt af Kongl. svenska Akad. Förhandl. 1900.)  
Ref. B. J. 28. 277.
191. Roth, E., Verhältnis zwischen der Wasserverdunstungsgeschwindigkeit in unaufgespaltenem und aufgespaltenem Holze. (Forstw. Zentralbl., herausg. von Baur, N. F. Bd. IV, Berlin, 1882, p. 200.)  
Ref. B. J. 10. 3.
303. —, —, Über einige Schutzeinrichtungen der Pflanzen gegen übermäßige Verdunstung. (Sammlg. Vorträge von R. Virchow und W. Wattenbach, N. F., 10. Ser., Heft 218, Hamburg 1895.)  
Ref. B. C. Beiheft 1896, 256. — B. J. 23. 33.

84. Rue' de la . . . (Botan. Zeitung, Bd. XXVII, 1869, p. 882.)
46. Sachs, J., Über Verdunstungsphänomene in Pflanzen. (Flora 1856, p. 613; Ber. über die 32. Vers. deutscher Naturforscher und Ärzte in Wien.)
53. —, —, Über eine Methode, die Quantitäten der vegetabilischen Eigenwärme zu bestimmen. (Sitzb. der K. Akad. d. Wissensch. in Wien, Bd. XXVI, 1858, p. 159.)
57. —, —, Über den Einfluß der chemischen und physikalischen Beschaffenheit des Bodens auf die Transpiration der Pflanzen. (Landw. Vers.-Stationen, Bd. I, 1859, p. 203.)
58. —, —, Beiträge zur Lehre von der Transpiration der Gewächse. (Bot. Ztg., Bd. XVIII, 1860, p. 121.)
59. —, —, Das Erfrieren bei Temperaturen über Null Grad. (Ebenda, Bd. XVIII, 1860, p. 123.)
60. —, —, Wurzelstudien. (Landw. Vers.-Stationen von Nobbe, Bd. II, 1860, p. 1.)
61. —, —, Notiz über Taubildung auf Pflanzen. (Ebenda, Bd. III, 1861, p. 45.)
311. Schellenberg, H. C., Beiträge zur Kenntnis vom Bau und Funktionen der Spaltöffnungen. (Botan. Ztg., Bd. LIV, 1896, p. 170.)  
Ref. B. C. 71, 68. — B. J. 24, 66.
260. Schimper, A. F. W., Über Schutzmittel des Laubes gegen Transpiration besonders in der Flora Javas. (Monatsb. der K. preuß. Akad. der Wissensch. in Berlin, Bd. XL, 1890, p. 1045.)  
Ref. B. C. 45, 53. — B. J. 18, 29.
355. Schintz, H., Die Transpiration der Pflanzen. (Botan. Kapitelvorträge Nr. 1; Schweizer. Pädagog. Zeitschr. Heft II, Zürich 1890.)
236. Schirmer, C., Zur Kenntnis der Transpirationsbedingungen saftreicher Pflanzen. (Inaug.-Dissert. der Universität Rostock, Leipzig 18...)
108. Schleh, A., Über die Bedeutung des Wassers in den Pflanzen und die Regelung desselben in unseren Kulturböden. (Inaug.-Dissert. Leipzig, Edelman, 1874.)
27. Schmidt, Beobachtungen über die Ausscheidung von Flüssigkeit aus der Spitze der Blätter des Arum Colocasia. (Linnaea Bd. VI, 1831, p. 65.)
284. Schneider, A., Influence of anaesthetics on plant transpiration. (The Botanical gazette, London, tom. XVIII, 1893, p. 56.)  
Ref. B. J. 21, 15.



312. Schostakowitsch, W. B., Über die Schutzanpassungen der Knospen sibirischer Baum- und Straucharten. (Mitteil. der ost-sibirischen Abt. der russischen Geogr. Gesellsch., tom. XXVI, Irkutsk 1896.)  
Ref. B. C. 70. 208. — B. J. 24. 80.
12. Schrank, F., Von den Nebengefäßen der Pflanzen und ihrem Nutzen. (Halle 1794, p. 71).
97. Schröder, J., Die Einwirkung der schwefligen Säure auf die Pflanzen. (Tharander, forst. Jahrb., Bd. XXII, 1872, p. 185; XXIII, 1873, p. 217.)
192. Schwendener, S., Über Bau und Mechanik der Spaltöffnungen. (Monatsber. der K. preuß. Akad. der Wissensch. Berlin, 1882, p. 833.)  
Ref. B. C. 9, 12. — B. J. 9, 4.
14. Senebier, J., Physiologie végétale etc. (Genève 1800.)
222. Sereix, Transpiracion de las plantas. (Revista de España, 1885, p. 408.)
393. Shibata, K., Zur Kenntnis der Kelch- und Kapselhydathoden. (Bot. Zentralbl. LXXXIII. Bd. 1900, p. 350.)  
Ref. B. J. 28. 170.
69. Siegert, Th., vide Nobbe Nr. 69.
99. Sorauer, P., Einfluß der Wasserzufuhr auf die Ausbildung der Gerstenpflanze. (Botan. Zeitg., Bd. XXXI, 1873, p. 145.)
158. —, —, Der Einfluß der Luftfeuchtigkeit. (Botanische Zeitung, Bd. XXXVI, 1878, p. 1.)  
Ref. B. J. 6. 214.
178. —, —, Studien über Verdunstung. (Forsch. a. d. Gebiet der Agrikultur-Physik von Wollny, Bd. III, 1880, p. 351.)  
Ref. B. C. 5. 294. — B. J. 8. 240.
179. —, —, Einige Versuche über die beste Aufbewahrung des Winterobstes. (Pomol. Monatshefte, N. F. 6. Jahrg., 1880, p. 84.)  
Ref. B. C. 1328.
180. —, —, Düngungsversuche bei Obstbäumen. (Monatsschr. des Vereins zur Beförderung des Gartenbaues, Jahrg. XXIII, 1880, p. 355.)  
Ref. B. J. 8. 308 654.
188. —, —, Studien über das Wasserbedürfnis der Hopfenpflanze. (Allgem. Hopfenzeitung, 1881, Nr. 18—21.)  
Ref. B. J. 9. 700.

193. Sorauer, P., Studien über das Wasserbedürfnis unserer Getreidearten. (Allgem. Brauer- und Hopfenzeitung, Jahrg. XXII, 1882, Nr. 15—19.)
202. —, —, Nachtrag zu den „Studien über Verdunstung“. (Forsch. a. d. Gebiet der Agrikult.-Physik von Wollny, Bd. VI, 1883, p. 79.)  
Ref. B. C. 15. 229. — B. J. 11. 10.
337. Spanjer, O., Untersuchungen über die Wasserapparate der Gefäßpflanzen. (Botan. Zeitung, Bd. LVI, 1898, p. 35.)
83. Sperk, Blattanatomie und Wasserausscheidung der Aroiden. (II. russische Naturforscher-Vers. 1869.)
19. Sprengel, K., Von dem Bau und der Natur der Gewächse. (Halle 1812.)
21. —, —, Anleitung zur Kenntnis der Gewächse. I. Tl. (Halle, 1817.)
100. Stahl, E., Die Entwicklungsgeschichte und Anatomie der Lenticellen. (Botan. Zeitung, Bd. XXXI, 1873, p. 561.)  
Ref. B. J. 1. 258.
246. —, —, Über den Einfluß des sonnigen und schattigen Standortes auf die Ausbildung der Laubblätter. (Jena'sche Zeitschr. f. Naturwissenschaft, Bd. XVI, Jena 1883, p. 162.)  
Ref. B. C. 14. 37. — B. J. 11. 425.
285. —, —, Regenfall und Blattgestalt. (Ann. du jardin botan. de Buitenzorg, tom. XI, 1893, p. 98.)  
Ref. B. C. 55. 209. — B. J. 21. 49.
293. —, —, Einige Versuche über Transpiration und Assimilation. (Botan. Zeitung, Bd. LII, 1894, p. 117.)  
Ref. B. C. 62. 171. — B. J. 22. 219.
304. —, —, Über die Bedeutung des Pflanzenschlafes. (Ber. d. Deutsch. Botan. Gesellsch. Berlin, Bd. XIII, 1895, p. 182.)  
Ref. B. C. 66. 63. — B. J. 23. 27.
363. —, —, Der Sinn der Mykorrhizenbildung. (Jahrb. f. wissensch. Botan., Bd. XXXIV, 1900, p. 539.)  
Ref. B. C. 83. 387. — B. J. 28. 337.
305. Stenström, K., Über das Vorkommen derselben Arten in verschiedenen Klimaten, an verschiedenen Standorten mit besonderer Berücksichtigung der xerophil ausgebildeten Pflanzen. (Flora, Bd. LXXX, 1895, p. 117.)  
Ref. B. C. Beiheft 1895, 350. — B. J. 23. 33.
182. Tieghem, van, et Bonnier, Recherches sur la vie ralentie et sur la vie latente. (Bull. de la soc. botan. de France, tom.

- XXVII, 1880, p. 83.) — Abgedruckt in *Annales agronomiques*, Paris, tom. VI, 1880, p. 520.)  
 Ref. B. C. 5. 135. — B. J. 8. 249 + 666.
231. Tiegheem, van, Transpiration et chlorovaporisation. (*Bull. de la soc. botan. de France*, tom. XXXIII, 1886.)  
 Ref. B. J. 14. 169.
17. Treviranus, L. Ch., Beiträge zur Pflanzenphysiologie. (Göttingen 1811.)
31. Trinchinetti, Sopra una funzione non ancora descritta nel vegetabili. (*Biblioth. italiana*, tom. LXXXII, 1836, p. 477.)
141. Tschaplowitz, F., Über den Einfluß der Blattflächen, des Zuwachses und der Temperatur auf die Verdunstung der Pflanzen. (*Wiener Obst- und Gartenzeitung*, Bd. II, Wien 1877, p. 127.)  
 Ref. B. J. 5. 530.
142. —, —, Über Verdunstung und Substanzzunahme der Pflanzen. (*Landw. Versuchsstationen von Nobbe*, Bd. XX, 1878, p. 74.)
143. —, —, Über die Verdunstung der Pflanzen. (*Monatsschr. des Vereins zur Beförderung des Gartenbaues in den preuß. Staaten etc.*, Berlin 1877.)
194. —, —, Untersuchungen über die Einwirkung der Wärme und der anderen Formen der Naturkräfte auf die Vegetationserscheinungen, (Leipzig, Voigt, 1882.)  
 Ref. B. C. 11. 52. — B. J. 10. 264.
203. —, —, Gibt es ein Transpirationsoptimum? (*Botan. Zeitung*, Bd. XLI, 1883, p. 353.)  
 Ref. B. C. 15. 72. — B. J. 9. 11.
181. Tschirch, A., Über einige Beziehungen des anatomischen Baues der Assimilationsorgane zu Klima und Standort mit spezieller Berücksichtigung des Spaltöffnungsapparates. (*Linnaea*, Bd. XLIII, N. F. Bd. IX, Berlin 1880—82, p. 139.)
189. Twitschel, Ida, On the evaporation of water from leaves. (*Americ. Naturalist*, tom. XV, Philadelphia, 1881, p. 385.)  
 Ref. B. J. 8. 242.
43. Unger, F., Anatomie und Physiologie der Pflanzen. (Wien-Leipzig, Hartleben, 1855, § 173.)
51. —, —, Öffnen und Schließen der Spaltöffnungen bei Pflanzen. (*Sitzb. d. K. Akad. der Wissensch. Wien*, Bd. XXV, 1857, p. 459.)
52. —, —, Über die Allgemeinheit wässeriger Ausscheidungen und deren Bedeutung für das Leben der Pflanzen. (Ebenda, Bd. XXVIII, 1858, p. 111.)

64. Unger, F., Neue Untersuchungen über die Transpiration der Pflanzen. (Ebenda, Bd. XLIV, 1862, p. 181 + 327.)
247. Vaizey, J. R., The transpiration of the sporophore of the musci. (Annal. of Botany, tom. I, 1887, Nr. 1.)  
Ref. B. J. 16. 82.
261. Verschaffelt, E. en J., De transpiratie der planten in koolzuurrijke lucht. (Botanisch Jaarboek uitgegeven door het kruidkundig genootschap „Dodonaea“ te Gent, Jaarg. II, 1890, p. 305.)  
Ref. B. C. 42. 373. — B. J. 18. 6.
126. Vesque, J., De l'absorption de l'eau par les racines dans ses rapports avec la transpiration. (Ann. sc. nat. Botan., 6. sér., tom. IV, 1876, p. 89.)  
Ref. B. J. 5. 524.
159. —, —, De l'influence de la température du sol sur l'absorption de l'eau par les racines. (Ebenda, tom. VI, 1878, p. 169.)  
Ref. B. J. 6. 188.
160. —, —, L'absorption comparée directement à la transpiration. (Ebenda, tom. VI, 1878, p. 201.)  
Ref. B. J. 6. 180.
214. —, —, Expériences sur la grande période et les oscillations de la transpiration durant la vie végétale (Annal. agronom. Paris, tom. X, 1884, p. 113.)
86. Vogel, A., Versuche über die Wasserverdunstung auf besäetem und unbesäetem Boden. (Abhandl. der K. bayr. Akad. der Wissensch. math.-nat. Kl., Bd. X, 1870, p. 320.)
161. —, —, Über Wasserverdunstung von verschiedenen Vegetationsdecken. (Sitzb. d. K. bayr. Akad. der Wissensch. in München, math.-nat. Kl., Bd. VIII, 1878, p. 539.)  
Ref. B. J. 6. 184.
204. Volkens, G., Über Wasserausscheidung in liquider Form an den höheren Pflanzen. (Jahres b. des K. botan. Gartens und bot. Museums zu Berlin, Bd. II, 1883, p. 166.)  
Ref. B. C. 12. 393.
215. —, —, Beziehungen zwischen Standort und anatomischem Bau der Vegetationsorgane. (Ebenda, Bd. II, 1884.)  
Ref. B. C. 20. 196. — B. J. 12. 20 + 319.
216. —, —, Die Kalkdrüsen der Plumbagineen. (Ber. d. Deutsch. Botan. Gesellsch. Berlin, Bd. II, 1884, p. 334.)  
Ref. B. C. 21. 269. — B. J. 12. 287.

232. Volkens, G., Zur Flora der ägyptisch-arabischen Wüste. Vorl. Skizze. (Sitzb. d. K. preuß. Akad. der Wissensch. Berlin, math.-nat. Kl., Bd. VI, 1886, p. 63.)  
Ref. B. C. 26. 222. — B. J. 14. 196 + 809.
239. —, —, Die Flora der ägyptisch-arabischen Wüste auf Grundlage anatomisch-physiologischer Forschungen. (Berlin, Bornträger, 1887.)  
Ref. B. J. 15. 183.
109. Vries, H., Über das Welken abgeschnittener Sprosse. (Arb. d. Botan. Inst. Würzburg, Bd. I, Leipzig 1874, p. 287.)
278. Wager, A., Zur Kenntnis des Blattbaues der Alpenpflanzen und dessen biologischer Bedeutung. (Sitzb. d. K. Akad. der Wissensch. Wien, Bd. CI, 1892, p. 487.)  
Ref. B. C. 51. 141. — 20. 503.
223. Weber, C. A., Über den Einfluß höherer Temperaturen auf die Fähigkeit des Holzes, den Transpirationsstrom zu leiten. (Ber. Deutsch. Bot. Gesell. Berlin, Bd. III, 1885, p. 345.)  
Ref. B. C. 25. 235. — B. J. 13. 12.
375. Wehmer, C., Zur Physiologie der Kakteen. (Monatsschrift f. Kakteenkunde, herausg. von K. Schumann, Bd. IV, 1894, p. 63.)
338. Weinrowsky, P., Untersuchungen über die Scheitelöffnungen bei Wasserpflanzen. (Beitr. z. wissensch. Bot., herausg. von Fünfstück, Bd. III, 1899, p. 205.)  
Ref. B. C. Beiheft 1900, 176. — B. J. 27. 125.
279. Wieler, A., Das Bluten der Pflanzen. (Beitr. z. Biologie der Pflanzen, herausg. v. Cohn, Bd. VI, 1892, p. 1.)  
Ref. B. C. 55. 178. — B. J. 20. 84.
280. Wiesbauer, J., Schutz der Pflanzen gegen übermäßige Verdunstung. („Natur und Offenbarung“, Bd. XXXVIII, Münster 1892, p. 227.)  
Ref. B. J. 20. 86.
88. Wiesner, J., Untersuchungen über die herbstliche Entlaubung der Holzgewächse. (Sitzb. d. K. Akad. der Wissensch. Wien, Bd. LXIV, 1871, p. 461.)
115. Wiesner, J. und Pacher, J., Über die Transpiration entlaubter Zweige und des Stammes der Roßkastanie. (Österr. Botan. Zeitschr. Wien, Bd. XXV, 1875, p. 145.)  
Ref. B. J. 3. 767.
127. Wiesner, J., Untersuchungen über den Einfluß des Lichtes und der strahlenden Wärme auf die Transpiration der Pflanze. (Sitzb. d. K. Akad. d. Wissensch. Wien, Bd. LXXIV, 1877, p. 477.)

- [Vollständige Übersetzung (Recherches sur l'influence de la lumière etc.) in Ann. sc. nat. Bot., 6. sér., tom. IV, 1876, p. 145 und Annal. agrom. Paris, tom. III, 1877, p. 215.]  
 Ref. B. J. 4. 727.
171. Wiesner, J., Versuche über den Ausgleich des Gasdruckes in den Geweben der Pflanzen. (Sitzb. d. K. Akad. der Wissensch. Wien, Bd. LXXIX, 1879, p. 368.)  
 Ref. B. J. 7. 219.
195. —, —, Studien über das Welken von Blüten und Laubspossen. Ein Beitrag zur Lehre von der Wasseraufnahme, Saftleitung und Transpiration der Pflanzen. (Ebenda, Bd. LXXXVI, 1882, p. 209.)  
 Ref. B. C. 12. 358 + 14. 68. — B. J. 11. 14.
238. —, —, Grundversuche über den Einfluß der Luftbewegung auf die Transpiration der Pflanzen. (Ebenda, Bd. XCVI, 1887, p. 182.)  
 Ref. B. C. 32. 382 + 35. 262. — B. J. 15. 216.
242. —, —, Der absteigende Wasserstrom und dessen physiologische Bedeutung. (Botan. Zeitung, Bd. XLVII, 1889, p. 1.)  
 Ref. B. C. 38. 595. — B. J. 17. 68.
262. —, —, Über das Saftperiderm. (Österr. Botan. Zeitschr. Wien, Bd. XL, 1890, p. 107.)  
 Ref. B. C. 44. 87. — B. J. 18. 621.
326. —, —, Untersuchungen über die mechanische Wirkung des Regens auf die Pflanze etc. (Annal. du jardin de Buitenzorg, tom. XV, 1897, p. 277.)  
 Ref. B. C. 70. 364. — B. J. 25. 106.
70. Wolf, W., Die Saussure'schen Gesetze der Aufsaugung von einfachen Salzlösungen durch die Wurzeln der Pflanzen. (Die Landwirtsch. Versuchsstat., herausg. von Nobbe, Bd. VI, 1864, p. 203.)
144. Wollny, E., Der Einfluß der Pflanzendecke und Beschattung auf die physikalischen Eigenschaften des Bodens. (Berlin, bei Wiegand, 1877.)
190. —, —, Untersuchungen über die Wasserverbrauchsmengen der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen in Rücksicht auf die agrar-meteorologischen Faktoren. (Forsch. aus d. Gebiet der Agrik.-Physik, herausg. von Wollny, Bd. IV, 1881.)
294. —, —, Untersuchungen über den Einfluß der Lichtfarbe auf das Produktionsvermögen und die Transpiration der Pflanzen. (Ebenda, Bd. XVII, 1894, p. 317.)  
 Ref. B. C. 60. 216. — B. J. 22. 229.
339. —, —, Untersuchungen über die Verdunstung und das Produktions-

- vermögen der Kulturpflanzen bei verschiedenem Feuchtigkeitsgehalte der Luft. (Ebenda, Bd. XX, 1898, p. 528.)  
 Ref. B. J. 26. 604.
265. Woods, A.
286. —, —, Some recent investigations on the evaporation of water from plants. (The Botan. Gazette, tom. XVIII, 1893, p. 304.)  
 Ref. B. C. 57. 15. — B. J. 21. 15.
306. —, —, Recording apparatus for the study of transpiration of plants. (Ebenda, tom. XX, 1895, p. 473.)  
 Ref. B. C. 18. 372. — B. J. 23. 12.
313. —, —, Researches on transpiration and assimilation. (Ebenda, tom. XXI, 1896, p. 26.)  
 2. Woodward, J., Some thoughts and experiments concerning vegetation. (Philos. Transact. London, tom. XXI, 1699, p. 193.)
361. Wulff, Th., Studien über verstopfte Spaltöffnungen. (Österr. Bot. Zeitschr., Bd. XLVIII, 1898, p. 201.)  
 Ref. B. C. Beiheft 1899, 292. — B. J. 26. 216.
370. —, —, Über die Transpiration der arktischen Gewächse. (Botanische Beobachtungen aus Spitzbergen, Lund 1902.)  
 Ref. B. C. 89. 354.
224. Zahlbruckner, A., Neue Beiträge zur Kenntnis der Lenticellen. (Verhandl. d. K. K. zoolog. botan. Ges. in Wien, Bd. XXXIV, 1885, p. 107.)
281. Zöebl, A. und Mikosch, C., Die Funktionen der Grannen der Gerstenähre. (Sitzb. d. K. Akad. der Wissensch. Wien, Bd. CI, 1892, p. 1033.)  
 Ref. B. C. 54. 240. — B. J. 20. 86.

Lippert & Co. (G. Pätz'sche Buchdr.), Naumburg a. S.



## Willkürliche Entwicklungsänderungen bei Pflanzen.

Ein Beitrag zur Physiologie der Entwicklung. Von Dr. **Georg Klebs**, Prof. in Halle. Mit 28 Abbildungen im Text. 1903. Preis: 4 Mark.

Botanische Zeitung Nr. 17 v. 1. Sept. 1903, 61. Jahrg.:

Unter dem Titel „Willkürliche Entwicklungsänderungen bei Pflanzen“ vereinigt Klebs eine Reihe von sieben Aufsätzen, die interessante Versuche und Erwägungen zu verschiedenen Problemen der Entwicklungs-Physiologie bringen.

## Über die Organisation und Physiologie der Cyanophyceenzelle und die mitotische Teilung ihres Kernes.

Von Dr. **F. G. Kohl**, a. o. Professor der Botanik an der Universität Marburg. Mit 10 lithogr. Tafeln. 1903. Preis: 20 Mark.

## Pathologische Pflanzenanatomie. In ihren Grundzügen dargestellt.

Von Dr. **Ernst Küster**, Dozent

für Botanik an der Universität zu Halle a. S. Mit 121 Abbildungen im Text. 1903. Preis: 8 Mark.

Flora, 1903, Heft 2:

Die pathologische Pflanzenanatomie ist bis jetzt in den anatomischen Lehr- und Handbüchern sehr stiefmütterlich behandelt worden. Es ist ja auch selbstverständlich, daß an eine zusammenhängende Bearbeitung dieser Disziplin erst nach einer gründlichen Durcharbeitung der normalen Anatomie gegangen werden konnte. Nachdem diese vorliegt, war es ein sehr dankenswertes Unternehmen, daß der Verfasser sich entschloß, eine zusammenhängende Darstellung der pathologischen Pflanzenanatomie zu geben, ein Gebiet, auf welchem er vielfach selbst tätig gewesen ist. Referent möchte das Buch als ein recht gelungenes bezeichnen. Es gibt eine kritische, knappe und klare Darstellung seines Gegenstandes (welche meiner Ansicht nach noch gewonnen haben würde durch Weglassung der etwas komplizierten, an die Bezeichnungen der menschlichen Pathologie anknüpfende Terminologie). Dabei ist trotz der Menge der verarbeiteten Literatur die Darstellung nirgends eine schleppende oder ermüdende.

## Grundriss einer Histochemie der pflanzlichen Genußmittel.

Von Dr. **Hans Molisch**, Prof. der Botanik und Vorstand des pflanzenphysiologischen Instituts der Univ. Prag. Mit 15 Holzschnitten. Preis: 2 Mark.

## Die Pflanze in ihren Beziehungen zum Eisen. Eine physiologische

Studie. Von Dr. **Hans Molisch**, Prof. der Botanik und Vorstand des pflanzenphysiologischen Instituts der Univ. Prag. Mit einer Tafel. Preis: 3 Mark.

Botanische Zeitung. 1892, S. 647:

„Die Arbeit ist durch die Genauigkeit und Kritik ihrer Methoden, die Vorsicht in der Deutung der Tatsachen und den Reichtum an neuen Beobachtungen gleich ausgezeichnet und verdient wohl zu den besten gerechnet zu werden, die die Pflanzenphysiologie in neuerer Zeit aufzuweisen gehabt hat.“

## Studien über den Milchsafft und Schleimsafft der

Pflanzen. Von Prof. Dr. **Hans Molisch**, Prof. der Botanik und Vorstand des pflanzenphysiologischen Instituts der deutschen Universität Prag. Mit 33 Holzschnitten im Text. 1900. Preis: 4 Mark.

## Untersuchungen über das Erfrieren der Pflanzen.

Von Dr. **Hans Molisch**, Prof. der Botanik und Vorstand des pflanzenphysiologischen Instituts der Univ. Prag. Mit 11 Holzschnitten im Text. 1897. Preis: 2 Mark 50 Pf.

Soeben erschien:

## Leuchtende Pflanzen. Eine physiologische Studie von Prof. Dr. **Hans Molisch**, Direktor des pflanzenphysiologischen

Instituts der k. k. deutschen Universität Prag. Mit 2 Tafeln und 14 Textfiguren. Preis: 6 Mark.

## Die Reizleitung und die reizleitenden Strukturen bei

den Pflanzen. Von Dr. **B. Němec**, Privatdozent der Botanik an der k. k. böhmischen Univ. in Prag. Mit 3 Tafeln und 10 Abbildungen im Text. 1901. Preis: 7 Mark.

**Pflanzengeographie auf physiologischer Grundlage.**

Von Dr. A. F. W. Schimper, a. o. Prof. an der Univ. Bonn. Mit 502 als Tafeln oder in den Text gedruckten Abbildungen in Autotypie, 5 Tafeln in Lichtdruck und 4 geographischen Karten. 1898. Preis: brosch. 27 Mark, eleg. in Halbfranz geb. 30 Mark.

Soeben erschien:

**Handbuch der Laubholzkunde.**

Charakteristik der in Mitteleuropa heimischen und im Freien angepflanzten angiospermen Gehölz-Arten und Formen mit Ausschluß der Bambuseen und Kakteen. Von Camillo Karl Schneider. Mit 95 Abbildungen im Text. Erste Lieferung. Die Ausgabe erfolgt in Lieferungen zum Preise von je 4 Mark.

Soeben erschien:

**Praktikum für morphologische und systematische**

**Botanik.** Hilfsbuch bei praktischen Uebungen und Anleitung zu selbstständigen Studien in der Morphologie und Systematik der Pflanzenwelt. Von Professor Dr. Karl Schumann, weil. Kustos am Königl. Botanischen Museum und Privatdozent an der Universität zu Berlin. Mit 154 Figuren im Text. Preis: 13 Mark, geb. 14 Mark.

**Das botanische Praktikum.**

Anleitung zum Selbststudium der mikroskopischen Botanik für Anfänger und Geübtere, zugleich ein Handbuch der mikroskopischen Technik, von Prof. Dr. Eduard Strasburger. Vierte umgearbeitete Auflage. Mit 230 Holzschnitten. 1902. Preis: 20 Mark, geb. 22 Mark 50 Pf.

**Lehrbuch der Botanik für Hochschulen.**

Von Dr. Eduard Strasburger, o. ö. Prof. an der Universität Bonn, Dr. Fritz Noll, Prof. a. d. Landw. Akad. Poppelsdorf, a. o. Prof. an der Univ. Bonn, Dr. Heinrich Schenck, Prof. an der technischen Hochschule Darmstadt, Dr. George Karsten, a. o. Prof. an der Univ. Bonn. Sechste, umgearbeitete Auflage. Mit 741 zum Teil farbigen Abbildungen. Preis: brosch. 7 Mark 50 Pf., geb. 8 Mark 50 Pf.

Soeben wurde vollständig die erste Reihe von:

**Vegetationsbilder.**

Von Dr. G. Karsten, Professor an der Universität Bonn und Dr. H. Schenck, Professor an der Technischen Hochschule Darmstadt. Unter dem Namen „Vegetationsbilder“ erscheint hier eine Sammlung von Lichtdrucken, die nach sorgfältig ausgewählten photographischen Vegetationsaufnahmen hergestellt sind. Verschiedenartige Pflanzenformationen und Genossenschaften möglichst aller Teile der Erdoberfläche in ihrer Eigenart zu erfassen, charakteristische Gewächse, welche der Vegetation ihrer Heimat ein besonderes Gepräge verleihen, und wichtige ausländische Kulturpflanzen in guter Darstellung wiederzugeben, ist die Aufgabe, welche die Herausgeber sich gestellt haben.

Der Preis für das Heft von 6 Tafeln ist auf 2,50 Mark festgesetzt worden unter der Voraussetzung, daß alle Lieferungen bezogen werden. Einzelne Hefte werden mit 4 Mark berechnet.

Die erste Reihe bilden folgende Hefte:

Heft 1. Taf. 1—6. Südbrasilien	Heft 6. Taf. 31—36. Monokotylen- bäume
Heft 2. „ 7—12. Malayischer Archipel	Heft 7. „ 37—42. Strandvegetation Brasiliens
Heft 3. „ 13—18. Tropische Nutzpflanzen	Heft 8. „ 43—48. Mexikanische Cacteen-, Agaven- und Bromeliaceen-Vegetation.
Heft 4. „ 19—24. Mexikanischer Wald und Tropen und Subtropen	
Heft 5. „ 25—30. Südwest-Afrika	

**Naturwissenschaftliche Wochenschrift**

einschließlich der Zeitschrift „Die Natur“ (Halle a. S.) seit 1. April 1902. „Organ der deutschen Gesellschaft für volkstümliche Naturkunde in Berlin.“ Herausgegeben von Prof. Dr. H. Potonié und Oberlehrer Dr. F. Koerber in Großlichterfelde-W. b. Berlin. Preis: vierteljährlich 1 Mark 50 Pf.

Trotz des reichen Inhalts der Zeitschrift ist der Preis so billig angesetzt worden, um jeden zu ermöglichen, eine naturwissenschaftliche Zeitschrift selbst zu halten. Probenummern sind durch jede Buchhandlung oder von der Verlagsbuchhandlung unentgeltlich zu beziehen.