IV.

Schutzeinrichtungen gegen die Gefahr des Austrocknens.

Eines der wichtigsten Lebenselemente für die Pflanzen ist das *Wasser*.

Der alte chemische Grundsatz: *corpora non agunt nisi fluida* hat auch für die Vorgänge innerhalb der Pflanzenzelle eine grofse Bedeutung. Wir wissen, dafs das Protoplasma nur so lange lebensthätig bzw. lebensfähig bleibt, als es wasserhaltig ist. Zwar können einige Pflanzen, z. B. die auf dem steinigen, sonnendurchglühten Boden der Hochebene von Central-Amerika wachsende Selaginella lepidophylla, das in Westindien auf Baumstämmen lebende, unter den glühenden Strahlen der Äquatorialsonne vollständig zusammenschrumpfende Polypodium incanum, ferner gewisse Algen (Chroolepus), Flechten und Moose (Sphagnum) eine monatelange Austrocknung bei starker Insolation ertragen, um bei der ersten Durchfeuchtung sofort wieder turgescent zu werden und weiter zu vegetieren; ebenso ist es bekannt, dafs die Samen von Mimosa pudica jahrzehntelang keimfähig bleiben, während freilich die Keimfähigkeit der bei den ägyptischen Mumien gefundenen Weizenkörner eine Fabel ist. Immerhin aber haben wir es hier mit Ausnahmefällen zu thun, da in der Regel die Vegetationskraft der Pflanzen, wenn wir von den Samen absehen, nach stattgefundener Austrocknung der Gewebe verloren geht. Das Wasser ist ferner der Pflanze unentbehrlich als eines der wichtigsten *Nahrungsmittel*; denn gerade die Grundstoffe des von der Wurzel aufgenommenen Wassers und des von dem Assimilationsgewebe absorbierten Kohlendioxyds sind es, aus denen die Pflanze ihre wichtigsten organischen Baustoffe erzeugt. Auch als Lösungs- und Transportmittel für die grofse Anzahl der zum Aufbau des Pflanzenkörpers notwendigen Mineralstoffe und endlich als Festigungsmittel des Teilungsgewebes durch den Turgor ist das Wasser der Pflanze unentbehrlich.

Bei dieser aufserordentlichen Bedeutung des Wassers für die Pflanze ist es erklärlich, dafs alle diejenigen Einflüsse des Standortes und des Klimas, die geeignet sind, die Pflanze dem Wassermangel bzw. der Austrocknung auszusetzen, sich in der Lebensweise und dem Bau der Vegetationsorgane geltend machen und dahin führen müssen, dafs allmählich in der Reihe der Generationen sich Einrichtungen ausbilden, die die Pflanze befähigen, diesen Kampf um ihre Existenz aufzunehmen.

Die Einrichtungen, welche den Zweck haben, den Gefahren der Austrocknung vorzubeugen, können sich nun nach zwei Richtungen hin entwickeln, indem sie die *Aufnahme* und *Abgabe* des Wassers, also die *Absorption* und *Transpiration* desselben regulieren. Die klimatischen und

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Standortsbedingungen, unter denen Austrocknung eintreten kann, beschränken sich nicht allein auf die Einwirkung starker Hitze bei Bodentrockenheit, sondern auch der Einflufs austrocknender Winde, erheblich erniedrigter Temperatur und endlich der Salzgehalt des Substrats: sie alle können die gleiche Wirkung hervorbringen und erfordern daher, zum Teil wenigstens, die gleichen Abwehrmittel. Wir werden solche also bei den Pflanzen der Wüste, der Steppe, des Hochgebirges und arktischer Klimate, ferner bei Salzpflanzen (Halophyten), endlich auch bei vielen Epiphyten finden. —

1. Regulierung der Absorption.

Die Wüstenpflanzen, die den allergröfsesten Teil des Jahres über ohne Regen vegetieren und sogar des Taues oft entbehren müssen, würden wohl die sengende Glut einer täglich mit fast gleicher Kraft herniederstrahlenden Sonne nicht zu ertragen im Stande sein, wenn sie nicht durch eine Reihe verschiedener und höchst wirksamer Einrichtungen geschützt würden.

Aufserordentlich verlängerte, fast unverzweigt senkrecht in die Tiefe hinabsteigende Wurzeln dringen bis in Regionen, wo die Kraft der Sonne wirkungslos bleibt und der Boden seine Feuchtigkeit noch bewahrt hat. Eine solche aufsergewöhnliche Wurzelentwicklung ist schon bei denjenigen einjährigen Pflanzen zu beobachten, die bis in den Sommer hinein vegetieren müssen, um zur Samenreife zu gelangen. So haben z. B. Keimlinge von Monsonia nivea, deren Vegetationsperiode erst im Juli abschliefst, schon Ende Januar, wo sie aus einer kaum nagelgrofsen Rosette von 3—4 Blättchen bestehen, Wurzeln von über $\frac{1}{2}$ m Länge[1]). Geradezu kolossale Wurzelbildung aber zeigen viele perennierende Wüstenpflanzen. Volkens versuchte wiederholt während seines Aufenthaltes in der ägyptisch-arabischen Wüste, ältere Büsche perennierender Gewächse bis zum Wurzelende auszugraben, gelangte aber nie zum Ziel. Das einzige, was er zu konstatieren vermochte, war der Umstand, dafs die Wurzel in 1—2 m Tiefe etwas dünner geworden war als oben. „Ein kaum handhohes Exemplar von Calligonum comosum hatte eine oben daumstarke Wurzel, $1\frac{1}{2}$ m weiter unten war sie noch von der Dicke eines kleinen Fingers, und so kann man getrost sagen, dafs hier die Länge der unterirdischen Axe die der oberirdischen um das *Zwanzigfache* übertraf.“ Wurzeln von wahrhaft enormer Länge zeigt ferner die Koloquinthe (Citrullus colocynthis), deren grofsen, zarten Blättern jedes Schutzmittel gegen Transpirationsverlust fehlt und „deren abgerissene Zweige innerhalb weniger Minuten welken, so dafs der Sammler kaum Zeit hat, sie vor völliger Erschlaffung in der Trommel oder Mappe unterzubringen“[2]). Trotz der Wüstensonne vegetiert sie den ganzen Sommer hindurch und erzeugt die unter dem Namen *Koloquinthen-Äpfel* bekannten, aufserordentlich saftreichen, faustgrofsen Früchte, die von den Straufsen und — in geröstetem Zustande — auch von den Tuaregs genossen werden. Endlich müssen hier noch die überaus langen dünnen Wurzeln vieler Wüsten-Gräser (Aristida pungens, Panicum turgidum, Elionurus hirsutus u. a.) Erwähnung finden, die den dünnen Flugsand in einer Länge von vielen Metern durchziehen und zum Schutz gegen Verdunstung noch aufserdem mit einer aus kleinen Sandpartikeln bestehenden festen, cylindrischen Hülle umgeben sind, welche mittels eines von den feinen Wurzelfasern ausgeschiedenen Klebstoffes gebildet wird.

[1]) Volkens, Flora der ägyptisch-arabischen Wüste, auf Grundlage anatomisch-physiologischer Forschungen dargestellt. 1887. S. 24.

[2]) Volkens, l. c. S. 25.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Während die tief in die Erde hinabragenden Wurzeln direkt als Wasser-aufnehmende und zuleitende Organe für die Assimilationsgewebe fungieren, werden, besonders bei den Familien der Liliaceen, Iridaceen, Amaryllideen, Orchideen und Asclepiadeen, in den *Zwiebeln und Knollen* Wasser- und Nahrungsspeicher angelegt, die allein es ermöglichen, die Lebenskraft der Pflanze während der Zeit der stärksten Sonnenwirkung zu erhalten. Die gröfseste Zahl der Zwiebel- und Knollengewächse findet sich denn auch gerade in jenen Gebieten, wo langandauernde Dürre alle saftreichen oberirdischen Gewebe der Gefahr des Vertrocknens aussetzt, und wo auch die oberen Erdschichten, in denen Zwiebeln und Knollen sich befinden, derartig ausgedörrt sind, dafs sie für das aus den Assimilationsorganen verdunstende Wasser keinen Ersatz bieten können. Sobald aber nach mehrmonatlicher Trockenperiode die ersten ausgiebigen Regengüsse den oft steinharten Boden erweicht haben, spriefst mit überraschender Schnelligkeit aus den Zwiebeln und Knollen ein üppiges Leben hervor, und — oft in wenigen Tagen — entfalten diese Gewächse saftstrotzende Blätter und duftige, farbenprächtige Blüten. Aufserordentlich reich an derartigen Pflanzen sind die Lehmsteppen Central-Asiens, die südafrikanischen Wüsten (Atacama und Kalahari), die Wüstensteppen Neuhollands und die Pampas Süd-Amerikas.

Im Anschlufs an die oben erwähnten *unterirdischen* Absorptions- bzw. wasserspeichernden Organe seien im Nachfolgenden verschiedene Einrichtungen erwähnt, die der *oberirdischen* Wasserspeicherung dienen.

Blasenartige Ausstülpungen vereinzelter Epidermiszellen finden sich auf Blättern und Internodien vieler Xerophyten, deren Standort und Klima eine besondere Art der Wasserzufuhr erfordert. Diese von Wasser prall gefüllten und oft dicht gedrängt stehenden Blasen decken während der heifsesten Zeit ausschliefslich den Bedarf der betreffenden Pflanzen an Feuchtigkeit. So fand Volkens die überaus dürren Schutthalden in der Nähe Alexandriens noch im Juli über und über bedeckt von Mesembryanthemum cristallinum, einer Wüstenpflanze mit kurzer, fingerdicker Wurzel. Obgleich ihr einzig und allein das in den Blattblasen befindliche Wasser zur Verfügung stand, zeigte sie dennoch kräftige Fruchtentwicklung, die dadurch ermöglicht wurde, dafs von unten an die Blasen allmählich ihre Feuchtigkeit hergaben, um dann mitsamt den Blättern, auf denen sie sich befanden, zu vertrocknen. So blieb schliefslich an dem verdorrten Pflanzenstocke nichts mehr lebend als die mit saftgefüllten Blasen besetzten grünen Früchte, die ihrer Reife entgegengingen. Ähnliche Wasserblasen zeigen Aizoon canadense und hispanicum, Caylusea canescens, Reseda pruinosa und arabica und verschiedene Atriplex-Arten, bei denen die Epidermisblasen aber als echte Haargebilde zu betrachten sind[1]).

Die Ausbildung eines besonderen, *wasserspeichernden Gewebes* ist eine der häufigsten Schutzeinrichtungen gegen Wassermangel. Bewohner trockener Standorte, Felsenpflanzen, Epiphyten etc., die dem Einflusse starker Besonnung ausgesetzt sind, finden in einem mächtig entwickelten „*Wassergewebe*“ oft den einzigen Schutz gegen das Vertrocknen. Die parenchymatischen Zellen desselben beschränken ihren protoplasmatischen Inhalt gewöhnlich auf einen dünnen Wandbeleg; ihr Saftraum ist mit farblosem Zellsaft erfüllt, und ihre Chromatophoren umgeben meist in Gestalt kleiner, farbloser Anlagen den Zellkern. Die unverdickten Partieen der Seitenwände dieser Zellen können Falten bilden, welche es ermöglichen, dafs die Zellen bei Wassermangel

[1]) Volkens, l. c. S. 54.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

blasebalgartig zusammenklappen, um bei Wasserzufuhr sich wieder aufzurichten und straff zu spannen. Dieses blasebalgähnliche Spiel der Zellen aber ist äufserst wichtig, da es das Eindringen von Luft in die kollabierten plasmahaltigen Zellen verhindert. Eine äufserst wichtige Eigenschaft des Speichergewebes ist diejenige, dafs es seinen Wassergehalt aufserordentlich leicht an das Wasser-bedürftige, mit starker endosmotischer Saugkraft ausgestattete Assimilationsgewebe abgiebt, um den Verlust dann gelegentlich aus den Gefäfsbündeln wieder zu decken.

Während sich ein mehrschichtiges, starkes, äufseres, d. h. oberhalb des Assimilationsgewebes befindliches Wassergewebe als Anpassung an trockenes Klima hauptsächlich auf der Oberseite flach ausgebreiteter Blätter findet (z. B. bei Bromeliaceen, Begoniaceen, Peperomien, Tradescantien), ist ein inneres, centrales Wassergewebe gewöhnlich bei succulenten Gewächsen vorhanden (Agaven, Aloen, Mesembryanthemen). Aber auch bei solchen Pflanzen, die wenig oder gar keine Blätter entwickeln und ihre Assimilation in den Stengel verlegt haben (z. B. Alhagi manniferum, Polycarpea fragilis, Tamarix-Arten), finden wir im Stengel ein epidermales Speichergewebe ausgebildet.

Vielfach ist das Wasserspeichersystem nur auf einzelne, dem Assimilationsgewebe eingelagerte Speicherzellen beschränkt, welche im turgescenten Zustande grofse, zartwandige, wassergefüllte Blasen darstellen, die ihren Inhalt dem Assimilationsgewebe ebenfalls zur Verfügung stellen, eine Einrichtung, die z. B. bei verschiedenen tropischen Orchideen trockener Standorte (Oncidium maximum, Liparis filipes u. a.) vorhanden ist. Dafs diese „Idioblasten" wirklich dem eben angegebenen Zwecke dienen, beweist der Umstand, dafs sie nur mit Luft erfüllt sind, wenn die Pflanze längere Zeit dem Wassermangel ausgesetzt war, während sie bei Zutritt der Feuchtigkeit sich schnell wieder mit Wasser füllen[1]).

Bei Pflanzen trockener, starker Insolation ausgesetzter Standorte erfahren einzelne Parenchymzellen häufig eine eigentümliche Umwandlung, die meist ebenfalls dem Zwecke der Wasserspeicherung dient. Es sind dies die von Vesque bei einer Reihe von Capparis-Arten entdeckten und als „*réservoirs vasiformes*" bezeichneten Gebilde[2]), die man jetzt nach dem Vorschlage von E. Heinricher gewöhnlich „Speichertracheïden"[3]) nennt. Sie stellen grofse, rundliche, in Gruppen angeordnete Zellen dar, deren Wände verholzt und mit zahlreichen Tüpfeln versehen sind. Sie finden sich sehr häufig in nächster Nähe der Randnervatur der Blätter, also im unmittelbaren Anschlufs an das „Berieselungssystem", selten von diesem isoliert, inmitten des zartwandigen Mesophylls. Ihr den Tracheïden ähnlicher Bau, ihre Lage im Zusammenhang mit dem Gefäfsbündelsystem, ihr reichlicher Wassergehalt und endlich ihr Auftreten in Pflanzen, die trockene, heifse Standorte bewohnen, also in Wüsten- und Steppenpflanzen (wie Capparis spinosa, Cocculus Leaeba, Astrolobium repandum, Tamariscineen, Paronychiaceen etc.) lassen an ihrer wasserspeichernden Funktion kaum noch zweifeln. Das von Schimper[4]) neuerdings beobachtete Auftreten eines stark entwickelten Wassergewebes und von Speichertracheïden

---

[1]) Vgl. P. Krüger, Die oberirdischen Vegetationsorgane der Orchideen in ihren Beziehungen zu Standort und Klima. Flora 1883, S. 435.

[2]) Vesque, L'espèce végétale considérée au point de vue de l'anatomie comparée. Ann. des Sc. Nat. Bot. 1882.

[3]) E. Heinricher, Über einige im Laube dikotyler Pflanzen trockenen Standorts auftretende Einrichtungen etc. Bot. Centralbl. 1885 Bd. III, S. 25 ff.

[4]) A. F. W Schimper, Die epiphytische Vegetation Amerikas. 1888 S. 44.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

in den Blättern und Scheinknollen der grofsen Mehrzahl aller epiphytischen Orchideen, die in feuchter Luft und gedämpftem Lichte die oberen Regionen der Urwaldbäume überwuchern, steht mit dem eben Gesagten durchaus nicht im Widerspruch, da diese Pflanzen durch die Natur ihres Substrats, d. h. der Rinde der Wirtsbäume, ja ebenfalls auf besondere Wasserversorgung angewiesen sind. Bei den Epiphyten sind denn auch, aufser den schon angegebenen, noch eine ganze Reihe anderer Speichervorrichtungen vorhanden. So fangen viele epiphytische Bromeliaceen Regen- und Tauwasser in einem mächtigen, an der Basis dicht anschliefsenden *Trichter auf, der von den rosettenartig angeordneten, bis zu vier Fufs langen Blättern gebildet wird.* Die Menge des hier angesammelten Wassers ist ganz bedeutend und beträgt häufig mehr als 1 Liter. Die Absorption desselben seitens der Blätter — die Wurzeln sind bei den epiphytischen Bromeliaceen nur Haftorgane und fehlen zum Teil ganz (Tillandsia usneoides) — findet nur durch vorwiegend an der Blattbasis ausgebildete und diese dicht überziehende Schuppenhaare statt. „Ein kleiner Wassertropfen auf ein solches Blatt gelegt, verhält sich ganz ähnlich wie auf Fliefspapier; er verschwindet in einigen Sekunden und hinterläfst einen dunklen Fleck.“[1]). Die Trichter derjenigen Bromeliaceen, die dem Sonnenlichte ausgesetzt sind, zeigen häufig noch besondere Schutzvorrichtungen gegen die Verdunstung des darin aufgesammelten Wassers, indem sich die gewölbten Blattbasen über denselben dachartig zusammenbiegen (Catopsis, Ortgiesia tillandsioides), oder indem sich die Blattspitzen über der Cisterne einander nähern und sich gegenseitig schraubenartig umwinden (Tillandsia flexuosa) oder endlich, indem die stark löffelartig ausgebauchten Blattbasen mit ihren Rändern so dicht aneinanderschliefsen, dafs ein zwiebelförmiges Gebilde entsteht, welches durch die schmalen, cylindrischen Blattspreiten aufserordentlich viel Wasser ansammelt, ohne dem Lichte den Zugang zu gestatten (Tillandsia bulbosa)[2]).

Eine ähnliche Art von Wasserreservoir finden wir bei einigen epiphytischen Aroideen und Farnen. Dieselben bilden durch ihre Blattrosetten ebenfalls Trichter, die den aus hineingeratenen pflanzlichen und tierischen Überresten entstandenen Humus und Wasser umschliefsen. Aufser den Blatttrichtern sind dann bei diesen Pflanzen meist noch schwammartig wirkende, vielverzweigte Wurzelgeflechte von flacher oder vogelnestähnlicher Gestalt vorhanden, welche gleichfalls Humus und Wasser ansammeln. Sowohl in diese Gebilde als auch in die Trichter wuchern nun die zahlreichen, in diesem Falle negativ-geotropischen Nährwurzeln hinein, um den Bedarf der Pflanze an Nährstoffen und Wasser daraus zu entnehmen. Hierher gehören z. B. die westindische kolossale Aroidee Anthurium Hügelii, sowie die grofsen südamerikanischen Farne Asplenium serratum und Polypodium Phyllitides[3]).

Eine eigentümliche, dem Zwecke der Wasserversorgung dienende Anpassung hat Goebel[4]) für einige indische Farne der Gattung Polypodium (P. quercifolium, rigidulum, Willdenowii) beschrieben. Er fand zwei Formen von Blättern an ihnen: sterile und fertile, von denen die letzteren langgestielt, fiederförmig eingeschnitten und intensiv grün sind, während die sterilen ungestielt, kürzer, oberseits konvex gewölbt und heller gefärbt sind. Diese legen sich mit ihrer

---

[1]) A. F. W. Schimper, l. c. S. 70.

[2]) Ibid. S. 74.

[3]) Ibid. S. 65.

[4]) K. Goebel, Morphol. und biolog. Studien. I. Über epiphytische Farne und Muscineen. Annales du Jardin Botanique de Buitenzorg. 1887. Vol. VII, S. 1.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

stark herzförmigen Basis dem Farnstamme oder dem Baume, auf dem der Farn wächst, an und bilden mit ihm eine oben offene, unten geschlossene „*Nische*“ und werden daher von Goebel als „*Nischenblätter*“ bezeichnet. Auch diese Nischenblätter sind Sammelbehälter für Humus und Wasser und werden von den Farnwurzeln durchwuchert. Eine ähnliche Heterophyllie zeigt auch Platycerium alcicorne, das neben seinen charakteristischen, hirschgeweihförmigen, gestielten Blättern ungestielte von nierenförmiger Gestalt und wasserspeicherndem Gewebe besitzt, die dem Substrat dicht aufliegen und als *Mantelblätter* bezeichnet wurden, da unter ihrem Schutze das Wurzelsystem sich entwickelt, welches den angesammelten, feuchten Humus verwertet.

Endlich finden sich zu *kapillaren Wasserbehältern* modificierte Laubblätter, die taschen- und krugförmige Gebilde darstellen, bei manchen epiphytischen Lebermoosen, besonders bei den rinden- und blattbewohnenden Jungermannien (z. B. Radula, Phragmicomia, Lejeunia, Frullania, Physotium)[1]. Diese Wasserbehälter, die seit langem bekannten „auriculae“ oder „Blattohren“ der Lebermoose, werden von Goebel auf Grund seiner eingehenden Beobachtungen ausschliefslich als „*Wassersäcke*“ gedeutet, während sie nach anderen Forschern (Kerner, Zelinka) ein symbiotisches Verhältnis des Lebermooses zu den in den Behältern lebenden Rädertierchen ermöglichen, welche die im Wasser befindlichen Infusorien, Sporen und Pollenzellen vertilgen und deren Ausscheidungen dann der Pflanze als Nahrung zu gute kommen.

Bei vielen epiphytischen Orchideen und Araceen ist eine besondere Art der Wasserversorgung an den frei auf der Oberfläche der Rinde oder auf kahlen Felsen kriechenden Luftwurzeln ausgebildet, deren innere Gewebe stets safterfüllt sind, während die *schneeweifse, luftführende, schwammig-poröse Hülle, das „Velamen radicum“*, nicht nur jeden Wassertropfen löschpapierartig einsaugt, sondern auch imstande ist, die in der Atmosphäre vorhandene Feuchtigkeit zu kondensieren und daher als der eigentliche Absorptionsapparat dieser Luftwurzeln angesehen werden mufs. Das beweist auch z. B. der Umstand, dafs eine 17 Zoll lange Luftwurzel von Epidendron elongatum in mit Wasserdampf gesättigter Luft innerhalb eines Tages mehr als den neunten Teil ihres Gewichts an Wasser aufnahm, und dafs, wie Kämpfer angiebt, Dendrobium moniliforme in Japan oft über den Thüren aufgehängt wird und noch jahrelang frisch und grün bleibt, ja sogar zum Blühen kommt[2].

Als eine der interessantesten Anpassungen ist endlich noch die *Urnenbildung* der Blätter von Dischidia Rafflesiana zu erwähnen. Diese Asclepiadee besitzt zweierlei Blätter: flache, fleischige Laubblätter und grofse, sack- oder urnenartige Blätter, deren verengte Eingangsöffnung dicht neben der Insertionsstelle liegt. Die meisten dieser „Urnen“ sind entweder vertikal oder schräg abwärts gerichtet und wenden ihre Öffnung nach oben. Sie sind von eingedrungenem Regenwasser und einer Humusschicht zum Teil erfüllt. Dicht neben der Ansatzstelle der Urne entspringt aus dem Stengel eine Adventivwurzel (selten mehrere), die durch die enge Öffnung in das dunkle Innere eindringt, sich dort reichlich verzweigt und den Inhalt verwertet. Diejenigen Wurzeln, die in nach oben gerichtete Urnen hineinwachsen, kommen dennoch auf ihre Rechnung, obwohl bei dieser Stellung derselben Regen und Humus sich darin nicht ansammeln können; denn in dem durch die starke Transpiration feucht gehaltenen Innenraume finden die Wurzeln

---

[1]) K. Goebel, Archegoniatenstudien. Flora, Bd. 77. 1893.
[2]) G. Haberlandt, Physiol. Pflanzenanatomie. 1884. S. 160.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

während der trockenen Jahreszeit immer noch Feuchtigkeit und Schutz genug, um vor gänzlicher Austrocknung bewahrt zu bleiben.

Die bisher geschilderten Schutzmittel gegen Wassermangel bestanden in der Ausbildung besonderer, der Absorption dienender Organe und Gewebe. Derselbe Zweck wird jedoch vielfach auch erreicht durch die *Ausscheidung hygroskopischer Salze,* welche eine gesteigerte Absorption der Luftfeuchtigkeit und des Taues seitens oberirdischer Organe ermöglicht. — Dafs neben der Aufnahme des Wassers durch die Wurzeln auch eine solche durch oberirdische Organe stattfindet, ist erwiesen und im Vorhergehenden wiederholt erwähnt worden. In der That saugen welkende Blätter osmotisch reichlich Tau und Regenwasser auf und werden dadurch wieder turgescent. Diese Fähigkeit osmotischer Wasseraufnahme verwerten nun zahlreiche Wüstenpflanzen, deren Standort und Wurzelbildung eine genügende Wasserzufuhr durch unterirdische Organe während der regenlosen Periode völlig ausschliefst. Sie würden diese Periode nicht überdauern können, wenn nicht eine reichliche Salzsekretion auf ihren Blattflächen stattfände, welche die in der Luft vorhandene Feuchtigkeit hygroskopisch niederzuschlagen und auch den Tau tropfenförmig auf sich zu verdichten imstande ist. Diese von der Epidermis ausgeschiedene Salzmasse stellt einen körnigen, weifslichen Überzug dar, der meist aus Chlornatrium mit beigemengten Magnesium- und Calciumverbindungen besteht und bei der mikroskopischen Durchmusterung eine Menge kleiner, würfelförmiger Krystalle erkennen läfst[1]). Besonders schön fand Volkens diese Erscheinung ausgebildet an Reaumuria hirtella, einem halbmeterhohen Strauche, der in allen Wadis verbreitet ist und sich vielfach in Felsspalten und Löchern ansiedelt. Am Tage erscheinen die Blätter der Pflanze von dem trockenen Salzüberzuge weifsgrau, des Morgens sind sie meist von Wasser förmlich triefend. Dafs dieses Wasser von den Pflanzen wirklich verwertet wurde, ist durch Versuche vollauf bestätigt worden. Abgeschnittene Sprosse, von denen einige sorgfältig von dem Salzüberzuge befreit wurden, während man ihn anderen beliefs, wurden ins Freie gelegt, ohne dabei der direkten Einwirkung der Sonnenstrahlen ausgesetzt zu sein. Die salzfreien waren am anderen Morgen vertrocknet, die anderen blieben 8—14 Tage völlig frisch und zeigten sich gegen Morgen reichlich mit Wasser bedeckt. Auch mehrere Tamariscineen (Tamarix mannifera und articulata), ferner Statice aphylla, Frankenia pulverulenta u. a. scheiden mittels epidermaler Drüsen Salzgemische aus, die nach Verdunstung des Lösungswassers als feste Masse sich auf der Blattfläche ablagern und dann hygroskopisch wirken. Eine salzabscheidende Wüstenpflanze, bei der jedoch nicht die Epidermis selbst, sondern Trichome die Sekretion bewirken, ist endlich noch Cressa cretica, eine krautige, zarte Convolvulacee, die auf dem sonst vegetationslosen Flughügelsande am Wüstensaume wächst und deren Büsche Volkens „geradezu wie Chlorcalcium und Schwefelsäure benutzte, um abgeschlossene Räume damit zu trocknen".

2. Einschränkung der Transpiration.

Die Wasserbewegung innerhalb der Pflanze ist abhängig von verschiedenen Faktoren. Während sie bei submersen Wasserpflanzen einzig und allein durch osmotischen Druck und osmotische Saugung erfolgt, tritt bei den Landpflanzen noch die *Transpiration*, d. h. die Abgabe von Wasserdampf seitens der mit der Atmosphäre in Berührung stehenden Organe, in selteneren

[1]) Vgl. G. Volkens, Die Flora der ägyptisch-arabischen Wüste etc. 1887.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Fällen auch die *Ausstofsung tropfbar-flüssigen Wassers* hinzu. Dafs die Transpiration nicht, wie bis vor kurzem angenommen wurde, die Hauptursache des Saftsteigens innerhalb des Pflanzenkörpers darstellt, ist durch Schwendeners Untersuchungen[1]) unzweifelhaft festgestellt. Danach macht sich die Wirkung des Wurzeldrucks nur wenige Meter aufwärts geltend, während die durch Transpiration bewirkte Saugung nur eine kleine Strecke abwärts reicht. Zum gröfsesten Teil sind also die osmotischen Kräfte als die Ursache des Saftsteigens anzusehen. Wenn die Transpiration somit auch nicht als die einzige oder wichtigste bewegende Kraft in bezug auf den Saftstrom bezeichnet werden kann, so ist sie dennoch für die Pflanze insofern von aufserordentlicher Bedeutung, als die durch sie bewirkte fortwährende Abgabe des Wassers an die Atmosphäre den Wasserstrom und damit die Zufuhr mineralischer Nährstoffe zu den peripherischen Organen ermöglicht. Je stärker eine Pflanze transpiriert, desto reichlicher wird daher die Nahrungszufuhr zu den Assimilationsorganen und desto ausgiebiger wird der Stoffumsatz sein. Die Notwendigkeit, die durch Transpiration bedingten Wasserverluste aus den benachbarten Geweben bzw. dem Leitungssystem wieder zu decken, bedingt aber einen genügenden Wasservorrat innerhalb derselben. Ist ein solcher nicht vorhanden, so ist der Ersatz dieser Verluste nicht möglich, und es treten dann sehr bald Assimilationsstörungen, Welken und Absterben der Pflanze ein.

Ebenso wichtig wie die im vorhergehenden Abschnitte erwähnten Schutzeinrichtungen zur Regulierung der Absorption sind daher diejenigen, welche eine Verminderung der Transpiration bewirken.

Dieser Transpirationsverminderung dient in erster Linie die *Reduktion der Blattfläche zu schmal-lanzettlicher oder cylindrischer Form oder gänzliches Verschwinden derselben*, wie wir dies vielfach bei Pflanzen trockener Standorte finden. Unsere heimische Flora bietet in Sarothamnus Scopiarius, dem Besenstrauch, der auf sonnigen Hügeln und an sandigen, trockenen Orten wächst, ein derartiges Beispiel; denn die Blätter sind hier auf kleine, cylindrische Assimilationsorgane reduziert. Auch Ulex europaeus und Genista-Arten zeigen dieselbe Erscheinung. An aufsereuropäischen Xerophyten ist diese Blattreduktion noch häufiger zu beobachten. So finden wir sie bei vielen Pflanzen der arabischen Wüste, z. B. bei Zilla myagroides, Pityranthus tortuosus, Alhagi manniferum, während es bei den folgenden überhaupt zu keiner eigentlichen Blattbildung kommt, da die Rinde als Assimilationsorgan fungiert: Tamarix articulata, Retama Raetam, Anabasis articulata, Ephedra Alte[2]). In den aufserordentlich trockenen Gebieten Südwest-Australiens geben meilenlange Wälder von Casuarina-Arten (C. muricata und equisetifolia) mit ihren blattlosen, wirtelig-verzweigten, schachtelhalmartigen Stämmen, ferner die blattlosen, binsenähnlichen Exocarpus (Santalaceae), sowie die Akazien mit ihren schmalen Phyllodien den Landschaften ein eigenartiges Aussehen. Ein sehr interessantes Beispiel für Blattreduktion bieten endlich noch einige epiphytische Orchideen der Gattung Aëranthus (z. B. Aëranthus funalis). Die Laubblätter fehlen ihnen vollständig, der Stamm ist von winziger Gröfse und die Assimilation wird fast ausschliefslich von einem mächtigen, chlorophyllhaltigen, grünen Wurzelsystem besorgt. —

Häufig findet das Prinzip der Oberflächenverminderung in dem Auftreten von *Dornen*

---

[1]) Schwendener, Untersuchungen über das Saftsteigen. Sitzungsber. der Kgl. Preufs. Akad. d. Wissensch. 1886.

[2]) Volkens, l. c. S. 41.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

seinen Ausdruck, die an Stelle der ganz oder teilweise unterdrückten Blätter aus der Verlängerung und Verdickung der Gefäfsbündel hervorgehen. So ist für die Kalahari-Wüste der allgemein verbreitete Akazien-Dornbusch charakteristisch, dessen häufigste Art, Acacia detinens (von den Ansiedlern „Wacht-een-beetje", „Stop-a-bit" genannt), wegen ihrer nach zwei Richtungen auseinandertretenden Dornen gefürchtet und sorgfältig gemieden wird. Dr. Hans Meyer[1]) traf auf seiner Expedition zur Erforschung des Kilimandscharo in der Nähe des Maunguberges eine förmliche Weifsdornwildnis, deren „geradezu fürchterliche" Dornenbildung hier weniger eine Wehr gegen Tiere, die sich in dieser geschlossenen Wildnis ohnehin nicht wohl fühlen würden, als vielmehr ein Schutzmittel gegen die Dürre der Trockenperiode zu bilden scheint. Die an Dornengewächsen reiche Flora der süd-asiatischen Steppen, sowie des Mittelmeergebietes (Astragalus-Arten, Acantholimon etc.) ist schon bei der Besprechung der Schutzeinrichtungen gegen tierische Angriffe erwähnt worden.

Während in den angegebenen Fällen Verminderung der Transpiration durch Reduktion der Blattflächen bewirkt wurde, sind bei den mit vollkommen entwickelten Transpirationsorganen versehenen Pflanzen die Schutzeinrichtungen höchst mannigfaltige.

Ausbildung einer starken Cuticula, dichte Behaarung, Wachs- bzw. Firnisbedeckung der Epidermis, Kalkkrusten und Salzausscheidungen, Vertikalstellung und periodische Bewegungen der Blätter wurden schon im II. Abschnitte zum Teil ausführlicher besprochen und müssen auch hier angeführt werden, da sie als Schutzmittel gegen zu starke Insolation naturgemäfs auch die Transpirationsgröfse erheblich herabsetzen. Ich will im Nachfolgenden nur auf einige dieser Schutzeinrichtungen noch einmal zurückkommen.

Die häufig auftretenden Wachsüberzüge der Epidermis, welche sowohl an Früchten (Pflaume, Weintraube), wie auch an Blättern den sog. Reif bilden, können aus Körnchen (Gramineen, Liliaceen, Iridaceen), aus Stäbchen (Saccharum officinarum, Musa, Strelitzia) oder Krusten (Thuja, Sempervivum) bestehen und erreichen in einigen Fällen eine bedeutende Mächtigkeit. Sie bilden beispielsweise auf der peruanischen Wachspalme (Ceroxylon andicola) eine bis zu 5 mm hohe Schicht. Versuche, die mit bereiften und mit vom Wachsüberzuge befreiten Blättern angestellt wurden, ergaben, dafs erstere erheblich geringer transpirierten als die wachsfreien. Da der Wachsüberzug zugleich die Benetzbarkeit der Blätter aufhebt und die von ihm nie verschlossenen Spaltöffnungen wasserfrei erhält, so bildet er ein wichtiges Schutzmittel vieler Xerophyten, so der Steppen-Rutaceen, vieler Acacien und Myrtaceen Neuhollands und der schon früher (T. I S. 17) genannten Wüstenpflanzen. In derselben Weise wirkt auch der meist aus einem Gemenge von Schleim und Harz bestehende, von Hautdrüsen, Nebenblättern oder Drüsenhaaren ausgeschiedene *firnisartige Überzug*, der besonders an den Trockenpflanzen der mediterranen Gebiete (Cistus laurifolius, populifolius etc.), der asiatischen Steppengebiete (z. B. Centaurea Balsamita), der nordamerikanischen Prärien (Grindelia Squarrosa), der wüstenartigen Landstriche Mexikos (z. B. Larrea Mexicana)[2]) und endlich vieler Wüstenbewohner (Compositen, Saxifragaceen, Anacardiaceen etc.) vorkommt und die Blätter wie lackiert erscheinen läfst. Die Stomata werden auch in diesem Falle von dem Überzuge frei gehalten, da die Blattflächen, welche sie tragen, entweder ganz ohne Firnisdecke sind, oder da sie sich auf warzenartigen, wie Inseln

[1]) H. Meyer, Gletscherfahrten. S. 60.

[2]) Laub und Knoten von Larrea Mexicana sind von einer dicken, aromatischen Harzmasse überzogen, die von den Indianern gesammelt wird und als Arizona-Lack in den Handel kommt.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

hervorragenden Erhebungen befinden oder ihre Schliefszellen mit langen Hörnchen versehen sind, welche eine Verstopfung verhindern[1]).

Die sehr geringe Durchlässigkeit des *Korkes* für Wasser und Wasserdampf läfst die reichliche Ausbildung dieser Gewebeform ebenfalls als ein Schutzmittel gegen zu starke Transpiration erscheinen. Wie bedeutend selbst eine dünne Korkschicht auf die Retardierung der Transpiration einwirkt, haben z. B. die Versuche Eders[2]) erwiesen, nach denen eine abgeschälte, also von der Korkschicht befreite Kartoffel in 24 Stunden etwa 64mal soviel Wasser verdunstete als eine ungeschälte. Ähnliche Versuche sind auch von G. Haberlandt, Wiesner und Pacher angestellt worden und haben die Schutzwirkung eines Korkmantels gegen zu starke Verdunstung aufser allen Zweifel gestellt. Volkens fand einen solchen kräftig entwickelten Korkmantel bei fast allen holzigen Xerophyten der ägyptisch-arabischen Wüste, deren Achsenorgane schon frühzeitig damit umkleidet sind (so bei Cocculus Leaeba, Helianthemum Kahiricum, Gaillonia calycoptera u. a.). —

Was die Bedeutung einer *dichten Behaarung* (s. T. I S. 18) für die Herabminderung der Transpiration betrifft, so schützt dieselbe nicht nur als ein natürlicher, über der Epidermis ausgebreiteter Schirm die der Verdunstung zunächst ausgesetzte Zellschicht vor zu starker Insolation, sondern schafft auch über den Spaltöffnungen einen Raum, der mit Wasserdampf erfüllt ist und dadurch die Transpiration erschwert. Zugleich verringert sie die bedeutenden Temperaturschwankungen, die in heifsen Klimaten, besonders im kontinentalen Australien, wo die Temperatur innerhalb weniger Stunden zuweilen zwischen 4° und 43° C. schwankt, so häufig sind[3]). Mit Recht weist übrigens Volkens darauf hin, dafs eine dichte Haarbekleidung nur dann als Anpassung an die hohe Evaporationskraft des Klimas betrachtet werden darf, wenn man es mit toten, lumenlosen oder doch wenigstens zeitweise luftführenden Haaren zu thun hat, welche allein geeignet erscheinen, die Transpiration zu vermindern (Farsetia aegyptiaca, Bassia muricata, Artemisia judaica, Helianthemum Kahiricum etc.), während lebende, protoplasmareiche Trichome unzweifelhaft die transpirierende Oberfläche vergröfsern und daher die entgegengesetzte Wirkung haben.

Ein in den verschiedenartigsten Florengebieten und Klimaten, in der Wüste, dem Hochgebirge, in arktischen und antarktischen Gegenden vorkommendes Schutzmittel gegen zu starke Verdunstung besteht in der *Zusammendrängung der Vegetationsorgane zu dichtem Haufwerk, zu Decken, Polstern und Rasen.* Dafs dieses für viele Steppen- und Wüstenpflanzen charakteristische Zusammendrängen der Pflanzenteile in der That geeignet ist, die Verdunstung durch Abwehr zu starker Insolation und durch Schaffung eines wasserdampferfüllten Raumes innerhalb des Haufwerks zu vermindern, leuchtet ohne weiteres ein. Wir dürfen uns jedoch nicht wundern, diese Einrichtungen auch in der kühlen Luft der Hochgebirge ausgebildet zu sehen, nachdem mehrfach der Xerophytencharakter der alpinen Vegetation festgestellt worden ist[4]). Der Umstand, dafs mit

---

[1]) Vgl. G. Volkens, Pflanzen mit lackierten Blättern. Ber. d. Deutschen Bot. Gesellsch. 1890 Bd. VIII, S. 120.

[2]) K. Eder, Untersuchungen über die Ausscheidungen von Wasserdampf bei den Pflanzen. Sitzungsber. der Wiener Akademie. 1875.

[3]) Vgl. Tschirch, Über einige Beziehungen des anat. Baues der Assimilationsorgane zu Klima u. Standort mit spec. Berücksichtigung des Spaltöffnungsapparats. Linnaea. Neue Folge Bd. IX. 1880—82.

[4]) Vgl. Schimper, Über Schutzmittel des Laubes gegen Transpiration. Sitzgsber. der Akad. d. Wissenschaften. Berlin. 1890.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

zunehmender Höhe auch der Feuchtigkeitsgehalt der Luft abnimmt[1]), dann das häufige Auftreten von Winden und Stürmen, die ebenfalls ihre austrocknende Wirkung auf den Boden und die Pflanzenwelt äufsern, machen es erklärlich, dafs eine ganze Reihe von Schutzmitteln gegen übermäfsige Verdunstung bei alpinen Pflanzen zur Entwicklung gelangen, wie kleine, stark kutikularisierte Blattflächen, dichte, filzige Behaarung, Kalkkrusten, Succulenz, Schutz der Stomata und Atemhöhlen etc. Das Auftreten polster- und rasenförmigen Wuchses ist von K. Reiche[2]) an einer grofsen Anzahl chilenischer, meist der Hochkordillere angehöriger Gewächse der verschiedensten Familien (Cruciferen, Caryophylleen, Oxalidaceen, Papilionaceen, Saxifragaceen, Erikaceen etc.) konstatiert worden. Die flachen Rasen, die z. B. Azorella madreporaria (Umbelliferae) bildet, sind so aufserordentlich dicht und hart, dafs der Fufs eines Hinüberschreitenden keinen Eindruck darauf zurückläfst, ja dafs sogar eine in nächster Nähe abgeschossene Revolverkugel von 7 mm Durchmesser wirkungslos von ihm abprallte. Auch Oxalis compacta und O. bryoides sind so hart, dafs sie nur durch Hammerschläge zerkleinert werden können.

Während es bei den Hochgebirgspflanzen neben der Windwirkung hauptsächlich die Luftverdünnung ist, auf deren Einflufs die eben geschilderten Schutzeinrichtungen zurückzuführen sind, haben diese bei den in arktischen und antarktischen Gegenden vegetierenden Pflanzen zum Teil eine andere Ursache. Hier ist es die durch die Kälte herabgesetzte Bodentemperatur, welche die Wurzelthätigkeit selbst der an Sümpfen und Morästen wachsenden Pflanzen sehr verlangsamt, während die über die Ebenen dahinbrausenden Winde die Transpiration erheblich steigern. Dieses Mifsverhältnis zwischen Absorption und Transpiration hat Kihlmann[3]) neuerdings veranlafst, die „Gefahr der Vertrocknung im *feuchten* Klima" an den mit reichlichen Schutzeinrichtungen, u. a. auch mit Rasen- und Polsterbildung versehenen Pflanzen der arktischen Sümpfe von Russisch-Lappland nachzuweisen. Ähnliche Beobachtungen sind auch von F. Pax[4]) an den Pflanzen Spitzbergens gemacht worden.

Eine Einrichtung, die besonders häufig bei den auf Trockenschutz angewiesenen Gramineen der Hochgebirge, der Steppen und Wüsten, aber auch bei Angehörigen anderer Familien beobachtet werden kann, besteht in der *Einrollung der Blätter um die Mittelrippe.* Die bei diesen Pflanzen in der Regel auf der Blattoberseite angeordneten Stomata würden bei starker Beleuchtung und Erwärmung eine so ausgiebige Verdunstung vermitteln, dafs sehr bald Wassermangel innerhalb der Pflanze eintreten müfste. Die Blätter sind nun so eingerichtet, dafs sie in allen Verhältnissen, die eine reichliche Transpiration herbeizuführen geeignet sind, die Oberseite längs der Mittelrippe zusammenlegen oder einrollen, so dafs dann die Stomata sich wie in einem geschlossenen Raume befinden und die Transpiration fast vollständig aufgehoben ist. Diese Einrichtung zeigen z. B. die verschiedenen Arten der besonders im Hochgebirge häufigen Gattung Sesleria (S. ovata, sphaerocephala, tenuifolia), ebenso Festuca alpestris und punctoria, ferner die Hauptvertreter der Steppengräser: Stipa capillata und pennata und die in der Wüste heimischen Aristida-Arten (A. pungens, ciliata, plumosa). Auch einige Moose, z. B. die Arten der

---

[1]) Nach Güfsfeld (Reise in den Anden) beträgt der Feuchtigkeitsgehalt der Luft bei 2438 m nur noch 42 pCt., bei 3658 m nur noch 27 pCt. von der über dem Meeresspiegel vorhandenen Wasserdampfmenge.

[2]) K. Reiche, Über polster- und deckenförmig wachsende Pflanzen. Santiago. 1893.

[3]) Kihlmann, Pflanzenbiol. Studien aus Russisch-Lappland. Helsingfors. 1890.

[4]) F. Pax, Über die Flora und Vegetation Spitzbergens. Naturw. Wochenschrift. 1891.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Gattung Polytrichum und mehrere Arten von Barbula klappen die sonst flach ausgebreiteten Blattflügel mantelartig herum, sobald der Feuchtigkeitsgehalt der bewegten Luft ein zu geringer wird[1]).

Während die Transpiration bei den im Jugendzustande befindlichen Organen hauptsächlich durch die für Wasserdampf nicht undurchlässige Cuticula stattfindet (*cuticuläre Transpiration*), überwiegt später die Wasserdampfausscheidung durch die Lenticellen des Periderms, vor allem aber durch die Spaltöffnungen der Epidermis (*stomatäre Transpiration*). Die Zahl, Gröfse und Anordnung der Stomata üben einen sehr wesentlichen Einflufs auf die Transpiration aus, und demgemäfs finden wir denn auch am Spaltöffnungsapparate die mannigfaltigsten Schutzeinrichtungen zur Regulierung der Verdunstung entwickelt. Dazu gehört zunächst das durch die Turgoränderungen der Schliefszellen herbeigeführte *Öffnen und Schliefsen der Luftspalte.* Die Turgorschwankungen der Schliefszellen sind infolge der eigentümlichen Wandverdickungen, der Elasticität und der seitlichen Anheftung derselben stets mit einer Formveränderung dieser Zellen verbunden, welche dahin führt, dafs bei zunehmendem Turgor Öffnung, bei vermindertem Turgor Verschlufs der Luftspalten und damit Abnahme der Transpiration eintritt. Da der Turgor aber von der in der Pflanze vorhandenen Wassermenge abhängig ist und diese wiederum zu den Standorts- und klimatischen Verhältnissen in Beziehung steht, so haben wir es hier mit einer selbstthätigen, den äufseren Bedingungen entsprechenden Regulierung der Transpiration zu thun.

Abgesehen von dieser periodischen Thätigkeit der Schliefszellen finden wir auch in der *verschiedenartigen Ausbildung der einzelnen Teile des Spaltöffnungsapparates* wichtige Anpassungen an die gegebenen Transpirationsverhältnisse. So wird die Verdunstung verringert, wenn die Spaltöffnungen nicht direkt in das umgebende Medium, sondern in mit Haaren ausgekleidete, krug- oder trichterförmige Vertiefungen ausmünden, welche mit dem von der Ausdünstung herstammenden Wasserdampf gefüllt sind (Banksia grandis, Dryandra floribunda, Hakea suaveolens), oder wenn die Spaltöffnungen in mehr oder weniger kontraktilen Längsrinnen sich befinden, die entweder durch Haare (Casuarina, Exocarpus) oder durch Ausstülpungen der Epidermiszellen gegen Luftbewegung geschützt sind (Callitris Preissii), oder endlich wenn sie auf der Unterseite einrollbarer, mit Haarfilz versehener Blätter liegen (Correa speciosa)[2]). Die geschützte Lage der auf der Oberseite einrollbarer Blätter befindlichen Spaltöffnungen (Sesleria, Stipa, Aristida etc.) ist vorher schon erwähnt worden. Auch die Atemhöhlen sind häufig gegen zu reichliche Wasserdampfabgabe geschützt, indem sie mit stark kutikularisierten Sklerenchymzellen (Elegia nuda) oder mit eigentümlich geformten, mechanischen Zellen, wie sie Tschirch in den Blättern von Kingia australis und Xanthorroea hastilis gefunden hat, ausgekleidet sind.

Das mit dem Spaltöffnungsapparat in Verbindung stehende *Durchlüftungssystem* wird ebenfalls durch die Transpirationsverhältnisse beeinflufst. Je gröfser die Intercellularräume des Mesophylls sind, desto ausgiebiger wird die Ausscheidung von Wasserdampf vor sich gehen. Man hat daher das an Intercellularen reiche Schwammparenchym der Laubblätter geradezu als Transpirationsgewebe bezeichnet. An feuchten, schattigen Standorten wird dieses Gewebe, das schon wegen der dort herrschenden Beleuchtungsverhältnisse eine stärkere Ausbildung zeigt (vgl. T. I S. 20), auch

---

[1]) Kerner, Pflanzenleben. Bd. I, S. 320.
[2]) Vgl. Tschirch, l. c.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

wegen der notwendigen Transpirationssteigerung zu mächtiger Entwicklung gelangen. Je heifsere, trockenere Standorte die Pflanzen bewohnen, desto gröfsere Reduktion wird naturgemäfs das Schwammgewebe erfahren; an seiner Stelle wird das an Intercellularen arme Palissadenparenchym zu immer gröfserer Ausbildung gelangen, um die Pflanze vor zu starker Verdunstung zu schützen. Nicht nur bei den so häufig isolateral gebauten Blättern der Wüsten- und Steppenpflanzen findet sich eine kräftigere Entwicklung des Palissadengewebes, auch die Hochgebirgspflanzen, auf deren Xerophytencharakter schon hingewiesen wurde, bilden eine sehr dichte, starke Palissadenschicht aus.

Auch die *Beschaffenheit des Zellsaftes* hat einen sehr bedeutenden Einflufs auf die Verdunstungsgröfse.

Der äufserst schleimige Zellinhalt der ein kolossales Wassergewebe ausbildenden *Succulenten* ist von so grofser Hygroskopicität, dafs dieselben während der Regenperiode beträchtliche Mengen Wassers aufzuspeichern imstande sind, welches ihnen bei der später eintretenden Dürre in reichem Mafse zur Verfügung steht. Da die meisten Succulenten Bewohner heifser, trockener Gebiete sind, so finden wir bei ihnen aufser dem wasserspeichernden, schleimführenden Gewebe noch andere Mittel gegen Austrocknung entwickelt. So ist bei den Cacteen die Blattbildung vollständig unterdrückt, während der fleischig angeschwollene Stamm entweder säulenförmig ist, wie bei den Cereus-Arten, oder flache, blattartige Bildung zeigt (Opuntien) oder sich der Kugelform nähert (Echinocactus, Melocactus). Eine ähnliche Ausbildung wie die Cacteen zeigen auch die blattlosen, kandelaberartigen Euphorbien Afrikas und West-Asiens, sowie die das Kapland bewohnenden Asclepiadeen der Gattung Stapelia. Eine stark kutikularisierte, fast knorpelige Epidermis, die oft sogar noch durch massenhafte Einlagerung von Calciumoxalat gefestigt ist, Wachsüberzüge etc. sind vielen succulenten Xerophyten eigen, zu denen aufser den schon erwähnten Cacteen, Euphorbiaceen, Asclepiadeen noch Gewächse der verschiedensten Familien gehören wie Liliaceen (Aloe-Arten), Bromeliaceen (Agave-Arten), Crassulaceen, Peperomien, Mesembryanthemen, Compositen (besonders die Arten der Gattung Kleinia) u. a. Wie wirksam die Succulenten gegen Wasserverlust geschützt sind, hat kürzlich F. Noll durch vergleichende Untersuchungen an einem Echinocactus und einer grofsblättrigen Aristolochia nachgewiesen. Darnach war bei sonst gleichen Bedingungen der Wasserverlust des Echinocactus ein etwa 6000fach geringerer als derjenige der gleich schweren Aristolochia [1]).

Zu den Succulenten werden auch diejenigen Gewächse gerechnet, die anstatt des Schleimes einen *salzhaltigen Zellsaft* führen, die sog. Halophyten. Die Verdunstungsgeschwindigkeit ihres Zellinhaltes wird wegen des reichen Gehaltes an Chlornatrium (bezw. auch Chlorcalcium und Chlormagnesium) erheblich herabgesetzt; und da sie auch, wie die vorher erwähnten Succulenten, reich an sonstigen Schutzeinrichtungen gegen grofse Wasserverluste sind (Succulenz, Reduktion der Laubblätter, Behaarung, Wachsüberzüge), so gehören sie zu den Hauptvertretern der Wüsten- und Steppenpflanzen. Die Salzsteppen gewähren gerade zur Zeit der allergröfsesten, hochsommerlichen Dürre durch ihre Halophyten-Vegetation einen ganz überraschenden Anblick. Wenn fast alle übrigen Pflanzen infolge der monatelangen Trockenperiode längst verdorrt sind, grünen und blühen die saftgefüllten Salsolaceen trotz der herniedersengenden Sonnenstrahlen fort und bilden da-

---

[1]) F. Noll, Vorlesungsnotiz zur Biologie der Succulenten. Flora 1893.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

durch einen erfreulichen Kontrast zu der sonstigen, trostlosen Öde. Reich an Halophyten sind vor allem die asiatischen Steppen (Agriophyllum gobicum, Salsola arbuscula, Haloxylon Ammodendron) und das Innere des australischen Festlandes (Rhagodia-Arten, Atriplex nummularia etc.). Die schon früher genannten Vertreter derselben in der arabischen Wüste (Reaumuria hirtella, Cressa cretica, Tamarix-Arten) sind so aufserordentlich salzreich, dafs sie körnige, hygroskopische Überzüge ausscheiden und dadurch aus der Luft Feuchtigkeit auf den Blättern verdichten. —

Interessant ist der Umstand, dafs auch die in feuchtem Boden wurzelnden *Strandpflanzen*, die ja der Natur ihres Substrats entsprechend zum grofsen Teil Salzpflanzen sind, ebenfalls deutlichen Xerophyten-Charakter zeigen, wie dies neuerdings Massart[1]) an belgischen Strandpflanzen und vor ihm schon Schimper[2]) an den doch eine fast aquatische Lebensweise führenden Mangrove-Bäumen nachgewiesen haben. Wir finden bei ihnen nicht allein die schon wiederholt angegebenen äufseren Schutzmittel entwickelt, sondern auch die innere Blattstruktur, vor allem ein starkes Palissadenparenchym, reiches Wassergewebe und tief eingesenkte Stomata weisen auf die Notwendigkeit des Transpirationsschutzes hin, und zwar sind alle diese Einrichtungen am stärksten entwickelt bei den auf Koralleninseln, also in reinem Seewasser wachsenden Pflanzen[3]).

Auf eine erschwerte Wasserversorgung deutet endlich noch der xerophile Charakter der *Solfataren-Flora*[4]) hin, welche in den vulkanischen Gebirgen Javas reich entwickelt ist. Dafs diese Pflanzen, trotzdem sie zum Teil in regen- und nebelreichen Regionen vegetieren, Schutzmittel gegen Wassermangel ausbilden, beweist, dafs auch in diesem Falle die *chemische Beschaffenheit des Substrats* solche Einrichtungen nötig macht. In der That ist der ganze Boden von dem den Fumarolen entstammenden, saueren und alaunhaltigen Wasser durchtränkt. —

Den zahlreichen Schutzmitteln gegen Wasserverlust reiht sich endlich als ein sehr wirksames die *Sekretion leichtflüchtiger, ätherischer Öle* (vgl. T. I S. 11) an, welche sich in den Epidermiszellen der Blätter und des Stengels, sowie in Sekretionskanälen, knopfartigen Drüsenhaaren u. s. w. ansammeln. Die infolge der Verdampfung der ätherischen Öle sich bildende Dunsthülle, welche die Pflanze umgiebt, läfst, wie Tyndalls Versuche[5]) ergeben haben, die strahlende Wärme in viel geringerem Grade hindurch, als die reine, atmosphärische Luft, verhindert also am Tage eine zu starke Erwärmung der Pflanzen, wie sie dieselben auch des Nachts bei klarem Himmel gegen zu

---

[1]) J. Massart, La biologie de la végétation sur le littoral Belge. Mémoires de la Société Royale de Belgique. T. XXXII. 1893.

[2]) Schimper, Die indo-malayische Strandflora. 1891.

[3]) Die Gründe, die Schimper nach zahlreichen mit Kochsalz-, Salpeter- und Nährgemischlösungen angestellten Versuchen für das Vorhandensein so vieler Schutzmittel gegen Transpiration bei den Halophyten anführt, sind folgende: Hoher Salzgehalt des Substrats bedingt erschwerte Wasserversorgung; concentriertere Salzlösungen verhindern die Assimilation des Kohlenstoffs ganz, so dafs die Pflanze keine Stärke oder Glycose mehr erzeugt; noch stärkere Concentration der Salzlösung führt den Tod der Pflanze herbei. (Schimper, Über Schutzmittel des Laubes gegen Transpiration, besonders in der Flora Javas. Sitzungsber. der Kgl. Akad. der Wissenschaften zu Berlin. 1890.) Nach Stahls Untersuchungen ist der Umstand von noch gröfserer Bedeutung, dafs nach Behandlung mit Salzlösungen *sehr bald und dauernd* Verschlufs der Luftspalten eintritt, die auch bei nachheriger Besonnung an feuchten Orten sich nicht wieder öffnen. Darauf beruht das bekannte Frischbleiben von Zweigen und Blättern, die in mit etwas Kochsalz versetztem Wasser sich befinden. (E. Stahl, Einige Versuche über Transpiration und Assimilation. Botan. Zeitg. 1894, Heft VI u. VII.)

[4]) Schimper, l. c.

[5]) John Tyndall, Die Wärme, betrachtet als eine Art von Bewegung. Deutsche Ausg. 1871. S. 418 ff.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

grofse Abkühlung infolge von Ausstrahlung schützt. Wie sehr die ätherischen Öle, selbst wenn sie nur in geringer Menge der Luft beigemengt sind, die Diathermansie derselben verringern, beweisen die nachfolgenden Angaben Tyndalls, nach denen die mit den Dämpfen von Rosenöl, Wermut-, Lavendel-, Thymian-, Kamillen-, Cassia- und Anisöl durchsetzte Luft 36 bzw. 41, 60, 74, 87, 109, 372 mal soviel Wärme absorbiert als reine Luft. —

V.

Schutzeinrichtungen zur Förderung der Transpiration.

Der Kreis der Pflanzen, welche Schutzeinrichtungen zur Förderung der Transpiration bedürfen, ist ein ungleich engerer als derjenige, welcher die vor zu starker Verdunstung zu schützenden umfafst. Hauptsächlich kommen dabei Sumpfpflanzen sowie die in den feuchtwarmen Tropengegenden heimischen Gewächse in Frage, da sich bei ihnen alle hier zu erwähnenden Schutzmittel am kräftigsten entwickelt finden. Handelte es sich bei den im vorigen Abschnitte besprochenen Pflanzen zunächst um Reduktion der Blattspreite bis zu deren völligem Verschwinden, so finden wir bei den in feuchter Atmosphäre lebenden Pflanzen das Bestreben, *möglichst grofse Blattflächen* auszubilden. Wenn schon in unseren heimischen Buchenwäldern die an schattigen, feuchten Stellen wachsenden Pflanzen sich durch grofsblättriges, flaches, zartes Laubwerk auszeichnen, so ist dies doch mit dem zu mächtiger Flächenentwicklung gelangenden Tropenlaube nicht zu vergleichen. Die Blätter einiger tropischer Palmen z. B. erreichen eine geradezu kolossale Ausdehnung. Die riesige Corypha umbraculifera Ceylons erzeugt Blätter, deren Oberfläche 30—40 qm grofs ist, während die im brasilianischen Urwalde vorkommende Tupatipalme (Raphia taedigera) nach Kerner gefiederte Blätter hervorbringt, deren Länge — den 4 bis 5 m langen Stiel abgerechnet — 19 bis 22 m und deren Breite bis zu 12 m beträgt. Durch sehr grofse Blätter sind auch die in feuchtwarmer Luft lebenden Bananen, Aroideen, Farne etc. ausgezeichnet. Da ferner auch eine *dünne, zarte Cuticula* eine ausgiebige Transpiration wesentlich erleichtert, finden wir eine solche bei den meisten Hygrophyten, besonders bei den die triefende Untervegetation des Urwaldes bildenden Pflanzen, z. B. Farnen, sehr häufig entwickelt. In anderen Fällen ist die Cuticula mit einer *dünnen Wachsschicht* überzogen, welche die Blätter unbenetzbar macht und die Stomata von Wasser frei erhält (Primula farinosa, Salix amygdalina, pruinosa, purpurea, Polypodium glaucophyllum). Die gleiche Wirkung wird oftmals durch eine auf der mit Spaltöffnungen versehenen Blattfläche befindliche *Haarschicht* erzielt, wie sie viele an Wasserläufen wachsende Pflanzen zeigen (Alnus incana, Salix incana, Cirsium heterophyllum, Tussilago Farfara). Auch *die Lage der Spaltöffnungen* selbst ist häufig eine derartige, dafs sie weder von Regen noch von Tau benetzt werden können. Sie sind entweder über die Epidermis emporgezogen (Blechnum boreale, Asplenium furcatum, Pteris cretica, Peperomia arifolia), oder liegen in Vertiefungen, die von papillenartig vorgewölbten Epidermiszellen umgeben sind (Lysimachia thyrsiflora, Polygonum amphibium, Scirpus lacustris), oder befinden sich in Gruben und Furchen eingesenkt (Nerium Oleander, Dryandra floribunda).

Die Orientierung der Blätter ist sehr selten eine vertikale, die für eine grofse Anzahl von

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf