

Zeitschrift: Schweizerische pädagogische Zeitschrift
Band: 10 (1900)
Heft: 1

Artikel: Botanische Kapitelvorträge : 1. Teil
Autor: Schinz, Hans
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-788999>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 02.02.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Botanische Kapitelvorträge,

gehalten auf Anordnung des zürcherischen Erziehungsrates
von Hans Schinz.

I.

Die Transpiration der Pflanzen.

Wer es an einem recht heissen Sommertage, wie wir deren letztes Jahr zur Genüge gehabt haben, unterlassen hat, seine Topfpflanzen zu begiessen, der hat sicherlich die Beobachtung gemacht, dass die Pflanzen am nächsten Morgen ihre Blätter hängen liessen, dass sie welk geworden. Sowie die Erde aber wieder begossen, sowie also den Wurzeln aufs neue Wasser zugeführt worden war, hatten sich die Blätter wieder aufgerichtet, und sich wieder in ihrer früheren Frische und Straffheit ausgebreitet. Das ist eine Erfahrung, die ein jeder schon ein- oder vielleicht sogar mehrmals gemacht hat. Nehmen wir nun an, der Blumentopf mit der eingewurzelten Pflanze werde hermetisch nach aussen abgeschlossen, indem die untere Abflussöffnung des Topfes verstopft und die ganze Aussen- und Oberseite des Geschirrs z. B. mit dicht anliegendem Stanniolpapier umkleidet und dieses Abschlusspapier eng dem Grunde der Pflanze angeschmiegt werde, so ist klar, dass, wenn vorher die Erde mit Wasser durchtränkt gewesen, jetzt weder Topf noch Erde direkt durch Verdunstung Wasser verlieren können; wenn wir aber vermeinen, nunmehr auch dem Welken unserer Pflanze einen Riegel gestossen zu haben, so irren wir uns sehr: sie wird trotz unserer Vorsichtsmassregel nach einigen Stunden oder vielleicht auch Tagen — wir werden später sehen, wodurch diese Differenzen begründet sind, — allmählig ihre Blätter senken und schlaff, mit einem Wort, welk werden. Würden wir den Versuch auf einer Wage vorgenommen haben, so hätten wir auch noch gleichzeitig einen Gewichtsverlust nachweisen können.

Eine Untersuchung der Erde in unserem Blumentopf zeigt, dass dieselbe staubtrocken geworden ist, sie hat ihr Wasser verloren und

zwar ist dasselbe von unserer Versuchspflanze an die Luft abgegeben worden: Die Pflanze hat transpirirt.

Diese Tatsache könnte nun, so dargestellt, recht zwecklos erscheinen. Es hätte ja keinen Sinn, dass die Blätter in jeder Sekunde Wasser verdunsten, wodurch die stetige Notwendigkeit eintritt, dass von unten her neues Wasser nachkommen muss, wenn die Transpiration nicht ihre Bedeutung für die Existenz der Pflanze hätte.

Es ist nun aber gerade der Vorgang der Transpiration, d. h. also die Abgabe von Wasser in Dampfform seitens der Pflanze an die Umgebung, die eine ganz wesentliche Aufgabe bei der Ernährung löst. Es stehen den Pflanzen — ich habe hier die sogenannten höhern Landpflanzen im Auge — zum Zwecke ihrer Ernährung zwei Quellen zur Verfügung: die Luft und der Boden. Der Luft entnimmt sie die Kohlensäure, spaltet sie in *O* und *C* und lässt den Kohlenstoff, den sie zurückbehält, mit dem vorhandenen Wasser zu den sogenannten Kohlenhydratverbindungen zusammentreten; das erste sichtbare Produkt dieses Vorganges, wir nennen ihn die Kohlenstoffassimilation, ist die Stärke. Die Pflanze baut sich indessen nicht nur aus Kohlenstoffverbindungen, aus Stärke und Cellulose auf, denn wenn wir eine Pflanze einäschern und ihre Asche sodann einer qualitativen Untersuchung unterwerfen, so weist uns der Chemiker in dieser Asche eine grosse Menge von chemischen Elementen nach, die, wie längst bekannt ist, von der Pflanze nicht aus der Luft, sondern aus dem Erdboden entnommen werden. Von solchen Aschenbestandteilen nenne ich: Schwefel, Phosphor, Kalium, Calcium, Magnesium, Eisen, Stickstoff; es sind das, abgesehen von Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff, diejenigen Elemente, die keiner Pflanze fehlen, mit andern Worten, die zum Gedeihen einer Pflanze unbedingt notwendigen Nährstoffe. Daneben können wohl noch die meisten der übrigen zur Zeit bekannten chemischen Elemente in dieser oder jener Pflanze als sogenannte entbehrliche Stoffe auftreten, ich nenne nur kurz die Kieselsäure, das Zink, das Zinn, das Titan, Mangan, Blei etc. etc.

Alle diese Mineralbestandteile werden der Pflanze durch das Bodenwasser zugeführt. In welcher Form sie sich im Boden vorfinden und wie sie in die Wurzeln, bezw. den Stengel gelangen, darauf werden wir später kurz zurückzukommen haben.

Das Bodenwasser stellt nun aber — es dient uns ja als Trinkwasser — eine äusserst verdünnte Lösung der erwähnten Mineralbestandteile dar, und es werden somit auch die Salzquantitäten, welche das Bodenwasser den Pflanzen zuführen kann, äusserst geringe sein, aber dennoch lehrt die künstliche Ernährung sowohl, wie die Kultur im Felde,

dass die Pflanze merkbare Quantitäten der Nährsalze für ihr Gedeihen notwendig hat. Äschern wir unsere Versuchspflanze ein, so bleibt eine ganz erkleckliche Aschenquantität zurück, ein Beweis, dass die Pflanze mehr Stoffe dieser Art anhäuft, als die verdünnte Bodenlösung vermuten liesse.

Dieser Punkt nun ist es, den wir, wenn wir die Bedeutung der Transpiration erfassen wollen, im Auge zu behalten haben.

Dadurch, dass das durch Wurzeln und Stengel in die Blätter gestiegene Wasser von den Blättern wiederum in Dampfform an die Luft abgegeben wird, muss natürlich die äusserst verdünnte Lösung der Bodensalze in den Blättern schliesslich konzentriert werden, denn nur das Wasser verdunstet, die Salze selbst bleiben in den Blättern zurück.

Dieser Prozess geht in einem fort: neues Wasser, wieder mit unmerklich kleinen Salzmengen beladen, strömt aufwärts, durch erneute Verdunstung entflieht das Wasser, und so fort.

So ermöglicht es die Transpiration, nach und nach die nötige Menge von Salzen, welcher die Blätter bedürfen, aus der gegebenen verdünnten Lösung, aus dem Bodenwasser anzusammeln. Die Transpiration ist daher nicht nur ein das Leben der Pflanze begleitender Vorgang, sondern ein für das Leben selbst ausserordentlich wichtiger Prozess und die Blätter sind nicht etwa nur die zufälligen Vermittler der Transpiration, sondern sie dienen ganz eigentlich diesem Zwecke und sind also Organe der Transpiration.*)

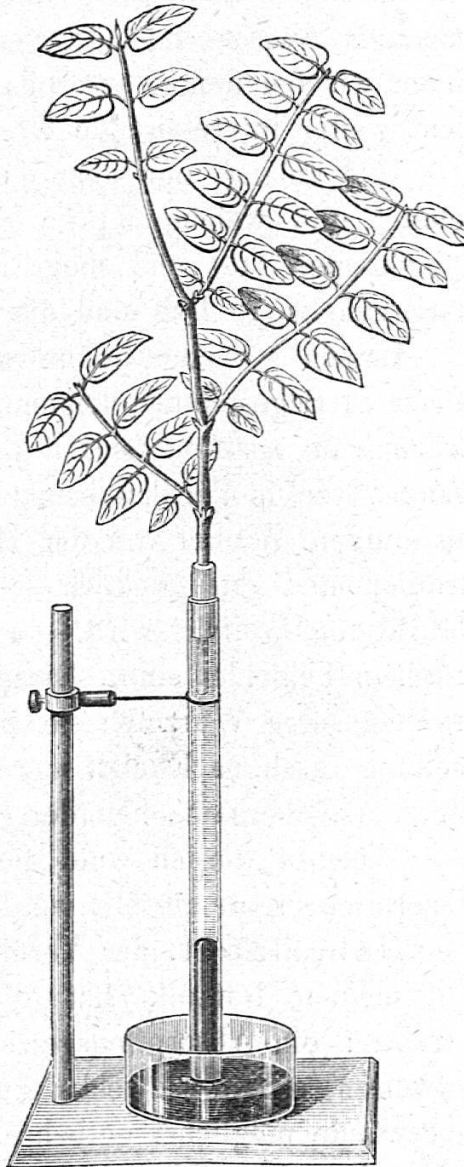


Fig. 1. Apparat zum Nachweis der saugenden Wirkung der Transpiration. Der beblätterte Spross ist luftdicht in ein wassergefülltes Glasrohr eingeführt, dessen unteres offenes Ende in Quecksilber taucht. Durch die Saugung des Zweiges bei der Wasserverdunstung wird das Quecksilber gehoben.

*) Die Figuren 1, 2, 3, 4, 5, 6, 16, 17 sind dem Lehrbuch der Botanik von Strassburger, Noll, Schenck und Schimper, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 18, 19, 20, dem Pflanzenleben von A. Kerner entnommen und mir durch Herrn Rektor Dr. Robert Keller übermittelt worden.

Es ist klar, dass es sich bei diesen Ausführungen nur um Land- oder besser gesagt um Luftpflanzen handelt. Wassergewächse können, sofern sie untergetaucht wachsen, nicht transpirieren, da sie allseitig von Wasser umgeben sind, sie sind aber befähigt, an allen Orten ihres Körpers aus dem Wasser die nötigen Stoffe aufzunehmen und dementsprechend finden wir bei den Wasserpflanzen auch eine ganz andere, uns hier aber nicht weiter interessierende Organisation.

Wie gelangt nun aber das Bodenwasser in die Pflanze, wo wird es geleitet und welche Kräfte sind tätig, um es bis in die äussersten Spitzen der 100 und mehr Meter hohen Fieber- und Mammutbäume emporzuheben? Das sind die Fragen, die uns zunächst beschäftigen.

Lassen wir eine Bohne oder dergl. in einer Nährlösung oder noch besser in Sägespännen keimen, so beobachten wir, dass die Wurzel dem Erdzentrum zustrebt (sie ist positiv geotropisch), dass ferner von dieser Hauptwurzel in Vertikalebene (Orthostichen) angeordnete und unter einem bestimmten Winkel von der Hauptwurzel abgehende Seitenwurzeln ausstrahlen und dass endlich — sofern die Pflanze mindestens nicht in Nährlösung kultiviert wird — sowohl Haupt- wie Seitenwurzeln mit kleinen Höschen bekleidet sind. Diese „Höschen“ repräsentieren das Absorptionsorgan unserer Wurzeln; sie bestehen, wie eine mikroskopische Untersuchung rasch nachweist, aus fadenförmig ausgewachsenen Ausstülpungen der Wurzeloberhautzellen (der Epidermis), den sogenannten Wurzelhaaren.

Welches werden wohl die Anforderungen sein, die an ein solches Absorptionsorgan gestellt werden?

Haberlandt, der Verfasser eines ausgezeichneten Lehrbuches der Allgemeinen Botanik hat die Antwort ebenso bündig wie treffend gegeben: ein Absorptionsgewebe muss eine möglichst grosse Oberfläche aufweisen, es muss zwecks Aufnahme der Nahrung zartwandig sein, der Querwände möglichst entbehren, und es muss im stande sein, ungelöste Stoffe in gelöste überzuführen. Diesen Anforderungen entsprechen die Wurzelhaare nun in der Tat voll und ganz. Prof. Schwarz hat ausgerechnet, dass die Oberfläche einer im feuchten Raume gewachsenen behaarten Maiswurzel $5\frac{1}{2}$ mal grösser ist als die Oberfläche einer unbehaart gedachten, gleich grossen Wurzel. Bei der Erbse stellt sich dieses Verhältnis sogar wie 12,4 zu 1! Diese Zahlen sind natürlich nicht etwa feststehend für bestimmte Arten, sie richten sich im Gegenteil nach den äusseren Verhältnissen: je grösser die zur Verfügung stehende Feuchtigkeit ist, um so weniger Wurzelhaare werden gebildet. Die Wurzelhaare sind des weitem sehr zartwandig, sie sind, wie bemerkt, nur Ausstülpungen der Wurzelepidermiszellen und sie sind nachgewiesenermassen

im stande, durch Ausscheidung von Säuren, die im Boden in gebundener Form vorhandenen Nährstoffe in Lösungen überzuführen. Welcher Natur diese von den Wurzelhaaren ausgeschiedenen Säuren sind, darüber wird zur Zeit noch gestritten; an dieser Stelle mag bemerkt sein, dass es sich nach Pfeffer, wohl dem bedeutendsten der jetzt lebenden Pflanzenphysiologen, einzig und allein um Kohlensäure handelt.

Einmal in Lösung übergeführt, gelangen die Stoffe, vom Bodenwasser mitgerissen, auf dem Wege der Endosmose in die Wurzelhaare, von da in die Wurzelrinde und durch die Durchlasszellen der Schutzscheide (der Endodermis, Fig. 2) in den Holzteil des axilen Leitbündels. Im Holzteil (Hadrom oder Xylem genannt), und zwar in den sogenannten Gefäßen und Tracheiden, also in den toten Elementen, steigt das Wasser nun in die Höhe, dient da zur Schwellung der Zellen, dort zur Lösung und als Transportmittel beim Stoffwechsel und deponirt, indem es langsam verdunstet, die mitgerissenen Mineralstoffe.

Die Leitungsbahnen können dem Auge direkt sichtbar gemacht werden, indem man Pflanzen — es eignen sich zu diesem Versuche namentlich solche mit durchsichtigen Stengeln (*Balsamine, Impatiens*) und zarten Blumenblättern — Farbstofflösungen aufnehmen lässt, ja auch die Schnelligkeit der Leitung kann demonstriert werden und zwar vorteilhaft durch eine von der Pflanze aufzunehmende Lithiumlösung, das emporgestiegene Lithium kann dann in den Blumenblättern leicht spektroskopisch nachgewiesen werden. Bei diesen Versuchen darf indessen nicht vergessen werden, dass das Wasser dem Farbstoff stets voraneilt, wie das sich ja an jedem in eine Farbstofflösung getauchten Fliesspapierstreifen zeigen lässt.

Lange Zeit haben sich hinsichtlich der Wasserleitung zwei Ansichten gegenübergestanden: nach der Anschauung von Sachs sollte das Wasser in den Zellwänden emporsteigen (Imbibitionstheorie), wogegen Schwendener als eigentliche Leitungsbahn das Lumen der Zelle bezeichnete. Heute hat sich die Schwendenersche Auffassung wohl allgemein Durchbruch verschafft.

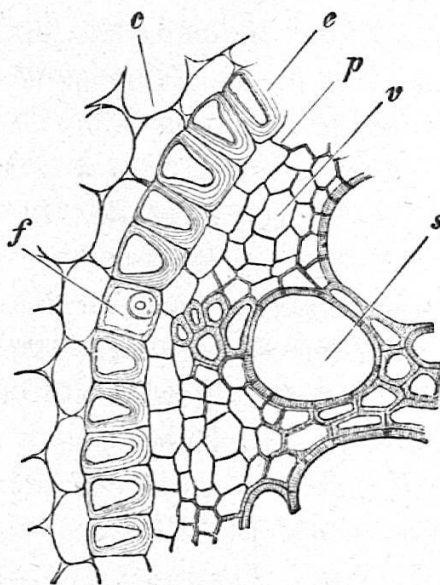


Fig. 2. Teil eines Querschnittes durch die Wurzel von Iris. e Endodermis mit einseitiger Verdickung der Zellen, f Durchlasszellen, p Perikambium, v Siebteil, s Gefässe. Vergrößerung 240.

Welches sind nun aber die Kräfte, die das Wasser in den Leitungsröhren zu oft so beträchtlicher Höhe heben?

Den Vorgang der Transpiration dürfen wir selbstredend nicht etwa als Kraftquelle auffassen; die Transpiration selbst schafft nur den Platz für das nachkommende Wasser.

Der Pflanzenphysiologe vermag uns zur Stunde noch keine abgerundete Antwort zu geben, er kann uns nur einzelne Kräfte namhaft machen, die vermutlich bei diesem rätselhaften Vorgange mitwirken.

Da ist einmal der sogenannte Wurzeldruck der Pflanzen, bekannter wohl unter der Bezeichnung des „Blutens“ der Pflanzen, zu nennen.

Unter Blüten oder Tränen der Pflanzen wird das Hervorpressen von Wasser aus Wundstellen verstanden, mögen diese nun durch Abschneiden des Hauptstammes, der Äste, der Blätter, der Wurzelteile oder durch Anbringen eines Bohrloches hergestellt worden sein. Ein solches Blüten ist seit alter Zeit für den *Weinstock* und für die *Birke* bekannt, von denen die letztere im Frühjahr grosse Mengen Saft aus Bohrlöchern liefert, während man bei dem *Weinstock* aus den abgeschnittenen Zweigen und Ästen Wasser hervortreten und abtropfen sieht. Diese Flüssigkeit wird mit einer gewissen z. T. erheblichen Energie hervorgetrieben, wie sich aus der Höhe der Wassersäule ergibt, die in einem Glasrohre emporgehoben wird, das man mit dem dekapitirten Stengel verbunden oder in ein Bohrloch eingesetzt hat.

Trotz dieser nachweisbaren Kraft hat die frühere Ansicht, der Wurzeldruck genüge, um den Auftrieb des Wassers in die Kronen hoher Bäume zu erklären, fallen gelassen werden müssen und zwar infolge verschiedener Wahrnehmungen: erstens ist die vom Wurzeldruck gelieferte Wassermenge erheblich geringer als die bei der Transpiration verbrauchte, ferner kommt bei einigermassen starker Transpiration, wie sie an einem Sommertage herrscht, der Wurzeldruck überhaupt nicht zur Geltung, und wird endlich eine kräftig verdunstende Pflanze am Wurzelstumpf abgeschnitten, so tritt aus demselben zunächst gar kein Wasser hervor, im Gegenteil, der Stumpf saugt dargebotenes Wasser noch begierig in sich auf und erst, wenn er selbst mit Wasser gesättigt ist, beginnt die Auspressung des Überschusses. Im Freien kommt denn auch der Wurzeldruck nur dann in der Pflanze zur Geltung, wenn an feuchten, kühlen Tagen, oder zumal des Nachts die Transpiration sehr vermindert ist. Diese Beobachtung deckt sich mit der landläufigen Erfahrung, wonach die Pflanzen zumeist im Frühjahr bluten, d. h. zu einer Jahreszeit, wo mangels entwickelter Blätter von einer Transpiration noch kaum gesprochen werden kann. Das Blüten oder Tränen ist, es mag dies gleich hier

hervorgehoben sein, ein Vorgang, der zu gewissen Jahreszeiten an die Stelle der Transpiration tritt, und diese gewissermassen ersetzt.

Man hat dann des weitern an diosmotische Strömungen, an die Wirkung der Kapillarität, an den Luftdruck etc. als Kraftquellen gedacht, aber sorgfältige Prüfung der aufgestellten Hypothesen hat stets deren Haltlosigkeit oder Unwahrscheinlichkeit erwiesen. Diosmotische Strömungen verlaufen viel zu langsam, als dass angenommen werden dürfte, dass sie den Auftrieb des Wassers, das unter Umständen bis zu 3 *m* Höhe pro Stunde emporsteigt, zu bewirken vermöchten. Was die Kapillarität anbelangt, so fehlen einerseits z. B. bei den Koniferen zusammenhängende Kapillaren und anderseits reicht die kapillare Steighöhe nicht entfernt an die Höhe eines auch nur mittelgrossen Baumes.

Auch der Luftdruck kann nicht die Kraftquelle der Transpirationsströmung sein. Zwar enthalten die Tracheiden und Tracheen lebhaft transpirirender Pflanzen neben kurzen Wassersäulchen noch verdünnte Luft, wie das Eindringen von Quecksilber in dieselben beweist, wenn unverletzte verdunstende Pflanzen unter Quecksilber durchschnitten werden. Da indessen die Wasserbahnen ringsum gegen die Atmosphäre abgeschlossen sind, so kommt der äussere Luftdruck in den Leitungsröhren gar nicht zur Geltung. Erinnern wir uns überdies der Tatsache, dass der volle Atmosphärendruck einer Wassersäule von nur etwa 10 Meter das Gleichgewicht halten kann, so wird man die ganze Unzulänglichkeit des Luftdruckes sofort übersehen können.

Es hat natürlich stets sehr nahe gelegen, hinsichtlich der Hebung des Transpirationswassers an die Mitbetätigung der lebendigen Zellen zu denken, die im Holzkörper überall verteilt sind und die auch über namhafte osmotische Druckkräfte verfügen; nachdem nun aber nachgewiesen worden ist, dass giftige Lösungen, die das Plasma rasch abtöten, dennoch bis in die höchsten Wipfel unserer Waldbäume befördert werden, ist man notgedrungen von dieser Zuhülfenahme lebender Zellen zur Erklärung der Wasserbewegung im Pflanzenkörper wiederum abgekommen, und wir können heute eben nur sagen, dass sich bis jetzt noch jedem Erklärungsversuch unüberwindliche Schwierigkeiten entgegensetzen.

Nach diesen einleitenden Ausführungen kehren wir nun zu unserm eigentlichen Gegenstande, zu dem Vorgange der Transpiration zurück. — Bereits ist betont worden, dass die Blätter einer Landpflanze die Transpirationsorgane seien.

Bevor wir aber weiter gehen, müssen wir uns rasch den Bau eines Laubblattes in die Erinnerung zurückrufen. Ober- und Unterseite desselben werden von der Epidermis begrenzt, die in der Regel einschichtig

ist und aus mehr oder minder tafelförmigen Zellen besteht (Fig. 3). Die äussern Membranen der Epidermiszellen pflegen nicht nur dicker als die Radial- und Bodenwände zu sein, sondern sie sind fast ausnahmslos auch noch

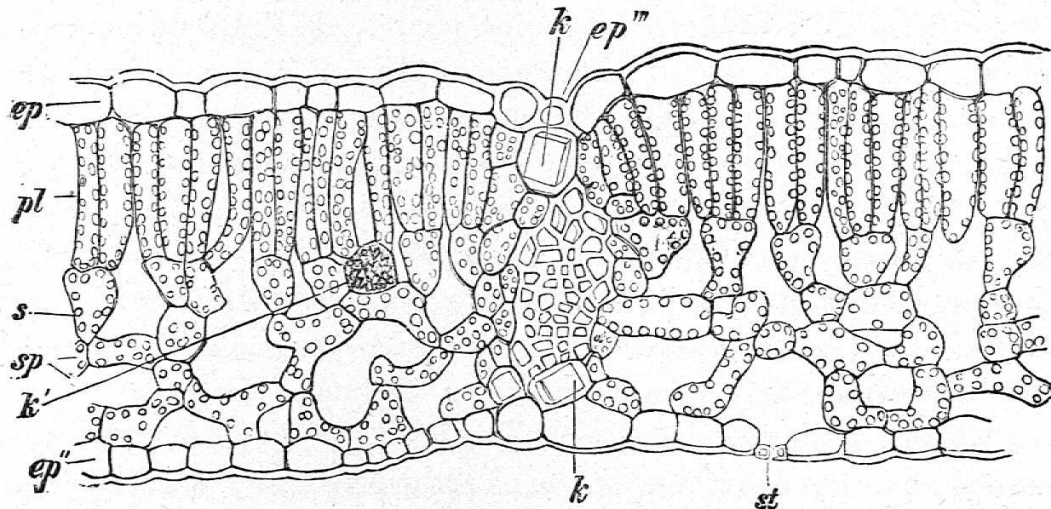


Fig. 3. Querschnitt durch das Blatt der Buche. ep. Epidermis der Oberseite, ep'' Epidermis der Unterseite, ep''' gestreckte Epidermiszellen über einem Leitbündel, pl Palissadenzellen, s Sammelzellen, sp Schwammparenchym, k krystallführende Zelle, k' Krystalldrüse, st Spaltöffnung. Vergrösserung 360.

in chemischer Beziehung verändert, insofern als sie kutikularisirt sind, wogegen die übrigen Wandungen sich aus reiner Zellulose aufbauen. Auch wo solche kutikularisirte Schichten fehlen, findet sich doch in wohl

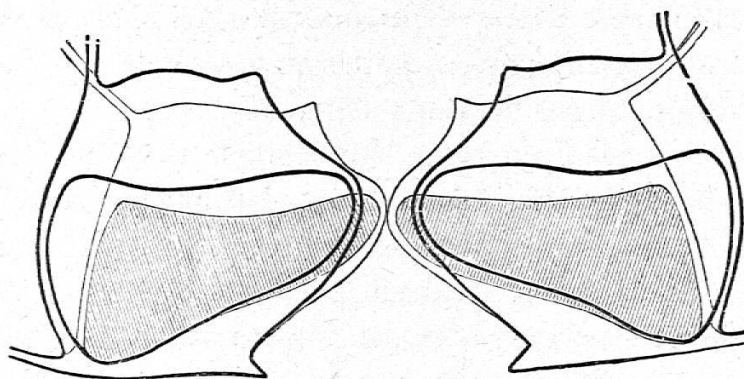


Fig. 4. Spaltöffnung von Helleborus im Querschnitt. Die dicken Linien zeigen die Form der Schliesszellen bei geöffnetem Spalt, die feineren Linien bei geschlossenem Spalt (nach Schwendener). Der Hohlraum der Zellen im geschlossenen Zustand ist schraffirt. Er ist merklich kleiner als bei geöffnetem Spalt.

allen Fällen eine sogenannte Kutikula vor, die als feines Häutchen die Epidermis überzieht und namentlich bei Anwendung chemischer Reagentien unschwer sichtbar gemacht werden kann.

Die Epidermiszellen sind nun nicht durchwegs lückenlos aneinandergesetzt, sondern lassen Luftwege zwischen sich frei, die sogenannten Spaltöffnungen. Die Zahl der Spaltöffnungen pro Blattfläche ist sehr verschieden. Sie kann einige wenige pro mm^2 betragen oder wir zählen per mm^2 200 und noch mehr. Bei der einen Pflanze beobachten wir deren auf Ober- und Unterseite, bei andern nur auf der Unter- oder nur auf der Oberseite, immerhin kann gesagt werden, dass in den meisten Fällen die Spaltöffnungen unterseits in grösserer Zahl als oberseits aufzutreten pflegen. Jede Spaltöffnung (Fig. 4) setzt sich aus zwei eigenartig geformten Schliesszellen zu-

sammen, die Bewegungen auszuführen im stande sind und durch diese Bewegung entweder die zwischen ihnen liegende Spalte durch gegenseitige Berührung ihrer Bauchwände schliessen oder sie durch Zurückweichen derselben erweitern. Diese Bewegungen hängen mit der Turgeszenz der Schliesszellen zusammen: bei hoher Turgeszenz öffnet sich die Spalte, bei schwacher Turgeszenz wird die Spalte geschlossen (Fig. 5).

Die Spaltöffnungen stehen nun in direkter Kommunikation mit dem Durchlüftungssystem des Blattes, mit den die Palisaden- und Schwammgewebezellen begleitenden Interzellularen.

Zwischen der obern und der untern Epidermis oder Oberhaut breitet sich das grüne chlorophyllführende Blattgewebe aus, das in den meisten Fällen in ein Palisaden- und in ein Schwammparenchymgewebe differenziert ist. Die Palisadenzellen sind prismatisch, die Schwammparenchymzellen dagegen sind vielfach gelappt und lassen zwischen sich mehr oder minder grosse Zwischenräume frei; sie unterscheiden sich von den Palisadenzellen des weitem auch durch den geringern Gehalt an Chlorophyllkörnern (Chloroplasten), und es ist daher klar, dass dementsprechend auch ihre Assimilationsenergie geringer sein muss. Blätter, die infolge ihrer Stellung sowohl die Unter- als die Oberseite dem Lichte zukehren (Profilstellung), pflegen beiderseits Palisadenzellen auszubilden: man bezeichnet solche Blätter als isolateral zum Unterschied von den dorsiventralen Blättern, die oberseits Palisadenzellen, unterseits Schwammparenchym führen. Das Mesophyll, d. h. das Blattgewebe mit Ausschluss der Epidermis, ist schliesslich noch von den sogenannten Nerven, den Leitbündeln, durchzogen, die mindestens in ihren letzten Verzweigungen nur noch aus Tracheiden zu bestehen pflegen. Sie dienen der Wasserleitung und — sofern auch Leptomelemente (Sieb- oder Phloemteil) das Hadrom begleiten — der Leitung der plastischen Baustoffe; als Nebenfunktion ist ihnen auch die mechanische Festigung der Blattfläche überbunden.

Dies vorausgeschickt, stellen wir uns nun die Frage: Wo vollzieht sich im Laubblatte vor allem die Wasserverdunstung? Jedenfalls in erster Linie in jenen Teilen des Mesophylls, das besonders reich an Lücken ist, d. h. im Schwammparenchym. Wie entweicht nun aber der Wasser-

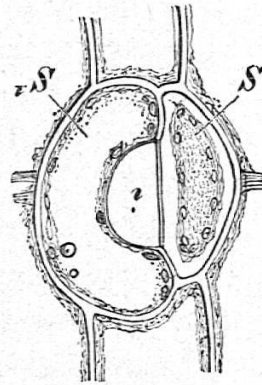


Fig. 5. Spaltöffnung eines Blumenblattes von der Fläche gesehen. S Schliesszelle bei aufgehobenem Turgor mit gerader Spaltwand, S' stark turgeszierende Schliesszelle mit gewölbter Spaltwand, den Spalt i halbseitig öffnend.

dampf, wird die Verdunstung regulirt durch die geschilderten Spaltöffnungen oder sind es ganz einfach die Epidermisaussenwände, die den Wasserdampf passiren lassen, mit andern Worten: welcher Transpirationsvorgang überwiegt, der stomatäre oder der kutikuläre? Ein einfaches Experiment gibt uns die gesuchte Antwort. Wir wählen z. B. ein Blatt, das nur auf der Unterseite Spaltöffnungen führt (z. B. *Salix caprea*, Ziegenweide) und belegen dessen Unterseite und Oberseite mit einem Stückchen Kobaltpapier. Nach wenigen Sekunden rötet sich das der Unterseite anliegende Papier energisch, während das der Oberseite angeschmiegte Stück oft nach mehreren Stunden noch seine rein blaue Farbe beibehält. Führen wir denselben Versuch mit Blättern derselben Pflanze bei unterdrückter stomatärer Transpiration, d. h. wenn die Spaltöffnungen geschlossen sind, das Blatt also z. B. welk ist, aus, so unterbleibt die Rötung des der Unterseite anliegenden Blattes, sicherlich ein schlagender Beweis dafür, dass die kutikuläre Transpiration gegenüber der stomatären stark in den Hintergrund tritt.

Wenn wir nun also wissen, dass die Wasserdampfabgabe in allererster Linie durch den Spaltöffnungsapparat regulirt wird, werden wir uns noch in aller Kürze mit den Bedingungen bekannt machen müssen, unter denen die Spaltöffnungen geschlossen, bzw. geöffnet sind. In der Regel öffnen sich die Spalten im Lichte, schliessen sich dagegen im Dunkeln. Sie sind offen, solange das Blatt turgeszent, geschlossen dagegen, wenn es welk ist, wobei indessen bemerkt sein soll, dass Abweichungen von dieser Regel keineswegs selten sind, in den meisten Fällen aber noch der Erklärung bedürfen. Von Pflanzen, denen die Fähigkeit abgeht, beim Welken die Spaltöffnungen zu schliessen (das Ausbleiben des Spaltenverschlusses ist mit der Kobaltprobe leicht nachzuweisen) nenne ich: den Froschlöffel, den Kalmus, den Wassersauerampfer, den Fieberklee etc., alles Pflanzen, die im Wasser wachsen und die, wie bekannt ist, ausserhalb des Wassers sehr rasch welken.

Da, wie bereits an früherer Stelle hervorgehoben worden ist, die Transpiration ein für das Leben der Landpflanzen ausserordentlich wichtiger Prozess ist, so wird es im Interesse der Pflanzen liegen, dafür zu sorgen, dass sie möglichst ungehemmt vor sich gehe. Dies wird durch alle Einrichtungen erreicht, welche 1. der Sättigung der über der transpirirenden Blattfläche liegenden Luft, 2. dem Wärmeentzug der Laubblätter vorbeugen und 3. die Bahnen für den Wasserdampf freihalten, also die Verstopfung der Spaltöffnungen und der Interzellularen hindern.

Der Sättigung der über dem Transpirationsorgan liegenden Luft kann durch passive oder aktive Erschütterungsvorrichtungen entgegen gearbeitet werden. Als Beispiel ersterer Art sei die Zitterpappel (*Populus tremula*) genannt, deren langgestielte Laubblätter durch den leisesten Luftzug in oszillierende Bewegung versetzt werden. Durch Versuche kann leicht nachgewiesen werden, dass das „Zittern des Espenlaubes“ eine Steigerung der Transpiration vermittelt. Aktive Erschütterungsvorrichtungen kommen bei einer grossen Zahl von Pflanzen vor, bei gewissen tropischen Gewächsen (*Desmodium gyrans* z. B.) bedingen sie ruckweise erfolgende und von blossen Auge unschwer wahrzunehmende Stellungsveränderungen der Laubblätter, währenddem sie bei den Pflanzen unserer Zone, wie z. B. beim *Klee* etc. ihren Ausdruck in den autonomen oder Zirkumnutations-Bewegungen (nicht zu verwechseln mit Tag- und Nachtstellung) finden. Bei *Trifolium pratense* ist die Amplitude der Oscillationen verhältnismässig gross (40 bis 150 Grad) bei einer Schwingungszeit von $1\frac{1}{2}$ bis 4 Stunden.

Der Gefahr des Wärmeentzuges sind die Laubblätter des Nachts infolge Wärmeausstrahlung ausgesetzt. Die durch Ausstrahlung verlorene Wärme ist grösser, wenn das Blatt horizontale (in Beziehung zum Erdboden gedacht), geringer, wenn es vertikale Lage hat. Die Richtigkeit dieses Satzes lässt sich unschwer experimentell nachweisen. Blattspreiten, die befähigt sind, in der Nachtstellung die horizontale Lage mit der vertikalen zu vertauschen, werden also, gleichgültig, ob dies durch Aufwärts- (*Klee*) oder Abwärtskrümmung (*Sauerklee*) des Bewegungsorgans geschieht, nachts über höher temperirt bleiben, als wenn sie ihre Tagstellung beibehalten hätten. Von bekannteren Pflanzen unserer Heimat, denen derartige nyktitropische Bewegungen zukommen, seien genannt der *Klee*, der *Sauerklee*, die *Kronwicke*, die *Spargelerbse*, der *Schnecken- und Hornklee* etc.

Die höhere Temperirung der Blattspreiten hat nun, und darin erblicken wir den Hauptnutzen der ebenerwähnten nyktitropischen Bewegungen, eine geringere Betauung zur Folge. Starker Taubeschlag der Blattspreiten hindert die stomatäre Transpiration, da die kleinen Wassertropfchen kapillar in den Spalten der Spaltöffnungen festgehalten werden. Die stomatäre Transpiration hat aber zur Aufgabe, die Assimilationsorgane mit mineralischen Nährstoffen zu versorgen, ihre Unterdrückung kann und wird daher die Pflanze direkt schädigen.

Die Einrichtungen, welche den Zweck haben, die Bahnen für den Wasserdampf frei zu halten, sind ausserordentlich mannigfaltig. Da die einen Blätter nur unterseits, andere — die Zahl dieser ist, wie schon

hervorgehoben, geringer — nur oberseits Spaltöffnungen führen, so werden wir derartige Einrichtungen naturgemäss auch bald nur unterseits, bald nur oberseits oder beidseits — bei den isolateralen Blättern — ausgebildet finden.

Die grösste Gefahr einer Störung des unbehinderten Ausströmens des Wasserdampfes droht von seiten des als Regen oder Tau auf die Oberfläche der Blätter gelangenden Wassers, wenn dasselbe den Spaltöffnungen unmittelbar auflagern kann. Nicht nur ist dann die Möglichkeit gegeben, dass das Wasser in Form kleiner Tröpfchen den Spalten adhäre und diese verstopfe, sondern es kann sogar durch Haarröhrchenwirkung in das Innere des Blattes eindringen.

Die nächste Umgebung der Spaltöffnungen muss daher, im Interesse einer unbehinderten Transpiration frei sein, es dürfen sich derselben Wasserschichten weder auf- noch vorlagern.

Diese Bedingung wird durch die verschiedensten Mittel erreicht.

Es ist zum Beispiel die Blattfläche nicht benetzbar, indem sie ein- oder beidseitig von einer mitunter unendlich dünnen abwischbaren Wachsschicht überhaucht ist. Als Beispiele dieser Art nenne ich die Primeln unserer Alpen und Moore. Pflückt man z. B. ein Blatt der bekannten *Mehlprimel*, *Primula farinosa*, hält dasselbe unter Wasser und zieht es dann an die Luft, so erscheint die obere, von Spaltöffnungen ganz freie Seite genetzt, während die untere, Spaltöffnungen führende Seite ganz trocken geblieben ist. Dasselbe Experiment mit demselben Erfolg können wir mit den Blättern verschiedener Weidenarten (*Sallix amygdalina*, *purpurea* etc.) und noch anderer Pflanzen ausführen.

Manche Gräser haben nur auf der obern Blattseite Spaltöffnungen; dementsprechend ist hier die Oberseite unbenetzbar, die untere Seite dagegegen verhält sich wie die Oberseite des Blattes der *Mehlprimel*. Dass schliesslich bei den *Irisarten*, deren schwertförmige Blätter vertikal gestellt sind, beide Blattseiten bereift und daher unbenetzbar sind, liegt auf der Hand, da beide Seiten Spaltöffnungen führen.

Ein anderes Mittel, wodurch dem Vordringen des Wassers bis zu den Spaltöffnungen eine Schranke gesetzt wird, ist die Ausbildung von Haaren. Fällt Regen oder beschlagen sich in der gedachten Weise geschützte Blätter mit Tau, so haftet das Wasser wohl an den Härchen, vermag aber nicht bis zu den Spaltöffnungen vorzudringen; die Haarbekleidung verhält sich zudem wie ein gutes Fliesspapier und bewirkt rasche Trockenlegung der benetzten Spreite. Sind die Spaltöffnungen auf die Unterseite der Spreite beschränkt so ist es nur diese, die den schützenden Filz besitzt (*Cirsium heterophyllum*, *Ulmaria pentapetala*, *Tussi-*

tago farfara, Rubus idaeus etc.). Demselben Zwecke dienen unstreitig auch die papillenartig hervorragenden Epidermiszellen mancher Gräser (namentlich *Carex*-Arten, Fig. 6). Fallende Wassertropfen rollen über derartige Flächen ab, da das Wasser die Luft aus den Vertiefungen nicht zu verdrängen vermag, und es erscheinen daher alle Organe, deren Epidermis die erwähnten Unebenheiten besitzt, untergetaucht wie mit einer dünnen Luftschicht überzogen. Beim *Buchsbaum* und beim *Oleander* sind die Epidermisaussenwände zwar flach, aber die Spaltöffnungen sind entweder — beim *Buchs* — von einem Wall überwölbt oder finden sich — beim *Oleander* — in mit Haaren ausgekleideten, tiefen, windstillen Gruben (Fig. 7).

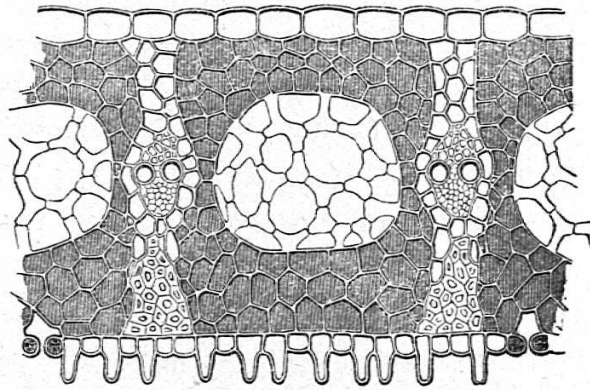


Fig. 6. Querschnitt durch ein Stück des Blattes von *Carex paludosa*. Unterseits mit papillenartig vorgewölbten Hautzellen. Vergrößerung 200.

Blätter, die benetzbare Spreitenflächen haben, sind häufig mit Einrichtungen ausgestattet, die auf eine rasche Ableitung des Wassers, überhaupt auf eine rasche Trockenlegung der Flächen hinzielen. Von derartigen Einrichtungen hat namentlich die sogenannte Träufelspitze eine sehr grosse Verbreitung. Wir verstehen unter einer Träufelspitze die langausgezogene, sehr oft säbelförmig gekrümmte Spitze einer Blattspreite (Fig. 8); ihre Funktion ist uns sofort klar, sowie wir an einem Regentag ein mit einer solchen Spitze versehenes Blatt etwas näher betrachten. Wir machen

dann die Beobachtung, dass das Regenwasser sehr rasch an der Spreite abläuft, sich als Tropfen an der Träufelspitze ansammelt und von dort schliesslich abtropft. Fassen wir zwei Blätter ins Auge,

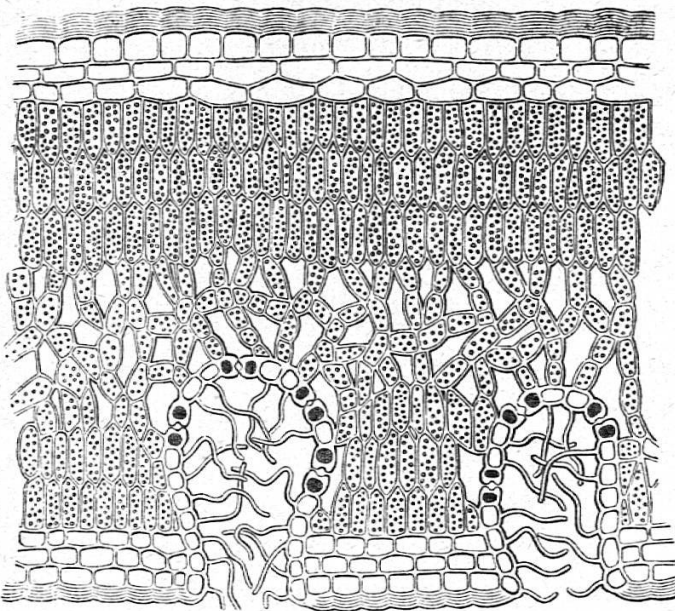


Fig. 7. Querschnitt durch das Blatt des Oleanders. Kutikularschicht der Oberhaut mächtig entwickelt. Spaltöffnungen in Vertiefungen der Unterseite des Blattes mündend. Vergrößerung 320.

dann die Beobachtung, dass das Regenwasser sehr rasch an der Spreite abläuft, sich als Tropfen an der Träufelspitze ansammelt und von dort schliesslich abtropft. Fassen wir zwei Blätter ins Auge,

deren eines auf operativem Wege der Träufelspitze beraubt worden ist, so können wir uns, nachdem der Regen nachgelassen hat, überzeugen, dass das die unversehrte Spitze besitzende Blatt lange vor dem der Spitze beraubten Blatte trocken ist! Beispiele: *Acer platanoides*, *Cannabis sativa*, *Gentiana asclepiadea*, *Platanus*, *Sambucus niger*, *Sambucus racemosus*, *Tilia parvifolia*, *Urtica urens* und zahlreiche andere Pflanzen.

Der Drainirung der Blattfläche dient auch der bogenförmige Verlauf der nach der Träufelspitze konvergirenden Hauptrippen (*Urtica dioica*), nicht minder die Haarreihen mancher *Labiaten* und *Scrophulariaceen*, die gleich Löschpapierstreifen das Wasser den Blattflächen entnehmen und dem Boden zuleiten (*Veronica beccabunga*, *Thymus chamaedrys*).

Es ist klar und bedarf kaum einer weitem Begründung, dass sich alle die geschilderten Einrichtungen zur Förderung der Transpiration namentlich bei solchen Pflanzen finden, denen reichlich Wasser zur Verfügung steht, sei es, dass sie im nassen Boden wachsen, sei es, dass die sie umgebende Luft mit Wasserdampf geschwängert ist. Letzteres wird im extremsten Sinne namentlich für die Gewächse der ewig feuchten Tropen Javas etc. zutreffen.

Den Hygrophyten, das heisst den Pflanzen, die in ihrer Lebensweise an grosse Boden- und Luftfeuchtigkeit angepasst sind, können wir die Xerophyten, das sind die Pflanzen trockener Standorte gegenüber stellen. Diese sind darauf angewiesen, mit dem Wasser, wenn sie nicht ihr Leben leichtsinnig aufs Spiel setzen wollen, sehr haushälterisch umzugehen, denn jedes Übermass von Transpiration bedeutet für sie den Tod. Sie werden daher darnach trachten müssen, zwar nicht die Transpiration völlig zu unterdrücken, aber doch zu reguliren und unter Umständen, wenn das Quantum des ihnen zur Verfügung stehenden Wassers ein Minimum erreicht, die Verdunstung selbst auf ein Minimum zu reduzieren.

Die Transpiration wird regulirt durch den Mechanismus der Schliess-

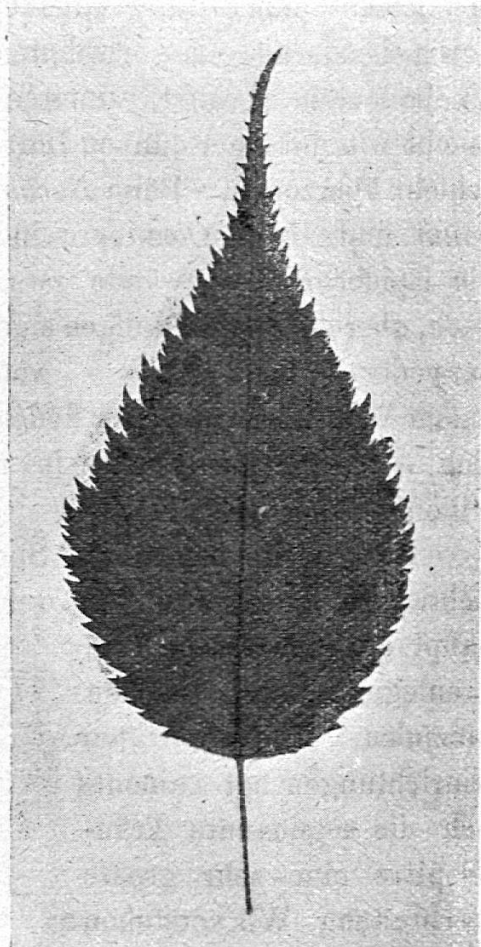


Fig. 8. Blättchen von *Spiraea aruncus* mit lang ausgezogener Träufelspitze.

zellen der Spaltöffnungen, die sich, wie wir schon früher gesehen haben, schliessen, wenn die Turgeszenz der Zellen nachlässt, mit andern Worten, wenn das Blatt welk wird. Die Verdunstung wird natürlich auch geringer mit der Verminderung der Lücken im Mesophyll des Blattes; Palissaden und Schwammparenchymzellen werden demnach in Blättern von Pflanzen trockener Standorte, sagen wir einmal von Gewächsen der sonnigen Abhänge des Monte Bré oder San Salvatore bei Lugano weniger Interzellularräume aufweisen als Blätter, die von Individuen derselben Art

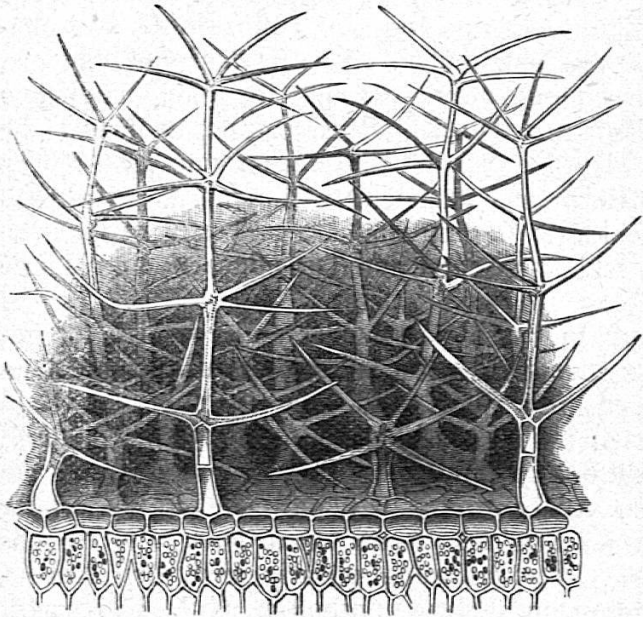


Fig. 9. Flockige Deckhaare des Wollkrautes (*Verbascum thapsiforme*).

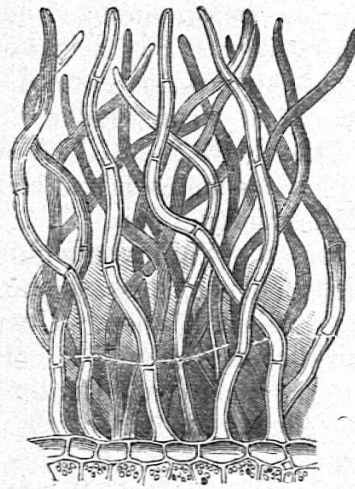


Fig. 11. Gegliederte Wollhaare des Edelweiss.

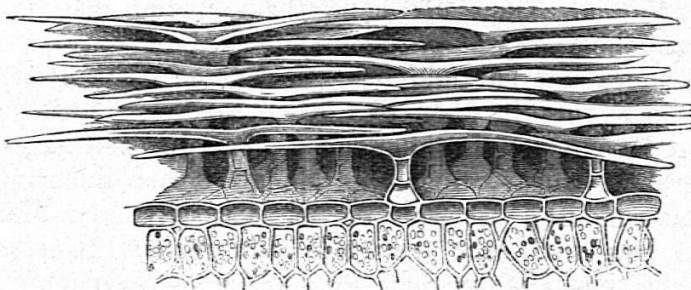


Fig. 10. Tauförmige Deckhaare der *Artemisia mutellina*.

herrühren, die im Schatten der Kastanienwälder des Monte Cenere aufgewachsen sind.

Literarisches.

A. Besprechungen.

Letsch, Dr. E., *Die schweizerischen Molassekohlen östlich der Reuss*. Mit 2 Profiltafeln und 5 Karten. 253 Seiten in —4^o. Bern, Schmid & Francke. 1899. Fr. 10. —.

In dem monumentalen Sammelwerke: „*Beiträge zur Geologie der Schweiz*“ ist vorliegende Arbeit eines Kollegen soeben erschienen. Bei dieser Unter-