Einführende Versuche zur Cohäsionsmechanik von Pflanzenzellen nebst Bemerkungen über den Saugmechanismus der wasserabsorbierenden Haare von Bromeliaceen.

Von **C. Steinbrinck.**

Mit 5 schematischen Figuren.

I.

Im vorigen Jahrgang der Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik findet sich (pag. 157—229) eine ausführliche Studie von Mez über „Die Wasserökonomie der extrem atmosphärischen Tillandsien", die den Mechanismus behandelt, durch den die Schuppenhaare der Tillandsia-Blätter die Wasserzufuhr für die Pflanze an Stelle der Wurzeln vermitteln. Mez glaubt diese Saugwirkung auf die Quellung der verdickten Haarzellmembranen zurückführen zu können. Er kommt allerdings etwas in Verlegenheit in bezug auf die Frage, „in welcher Weise durch Quellung, also durch Vermehrung des Membranvolums, Hohlräume entstehen könnten" (pag. 168), d. h. wie es möglich sei, dafs durch die Quellung von Membranen die von ihnen umschlossenen Zellräume, die vorher beim Wasserverlust unter Einfaltung ihrer Wandungen an Volumen sehr beträchtlich abgenommen haben, ja ev. sozusagen auf Null reduziert waren, wieder in ihrer ursprünglichen Ausdehnung zum Vorschein kommen. Mez findet sich aber mit dieser Schwierigkeit ab, indem er annimmt, „dafs eine festere Umrahmung die quellbare Masse davon zurückhält, die Lumina auszufüllen" (pag. 169). Wie aber beim Wasserverlust diese Volumreduktion der Lumina selbst verursacht wird, ist von Mez kaum erörtert worden. Die Konsequenz seiner ebenerwähnten Auffassung würde wohl die sein, dafs für jene Zerknitterung der Zellen die Austrocknung der Membran verantwortlich gemacht wird. Jedoch gibt Mez selbst zu, dafs die reduzierten Lumina, „wenn sie überhaupt sichtbar sind, stets Flüssigkeit enthalten" (pag. 167). Man kann aber doch schwerlich annehmen, dafs die Membranen der Haarzellen bereits stark geschrumpft sein sollten, während die Lumina derselben Zellen noch ganz von Wasser erfüllt sind![1]) Vielleicht hat Mez indes jene Volumverringerung dem Luftdruck zugeschrieben? Jedenfalls läfst uns seine Abhandlung darüber im Unklaren.

1) Vgl. Pfeffer, Pflanzenphysiologie. II. 1904 pag. 543.

Auf die richtige Erklärung dieser Verhältnisse glaube ich dagegen bereits im Jahre 1902 in einer Schlufsbemerkung zu meiner Darstellung des Schleudermechanismus der Selaginella-Sporangien (Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. 1902, pag. 127) hingewiesen zu haben. Es heifst dort, dafs die Lösung jener Frage „durch die Theorie der Schrumpfelung und elastischen Entfaltung vorgezeichnet“ sei. Meine Absicht, diese Auffassung selbst zu prüfen, ist damals dadurch vereitelt worden, dafs ich durch die physikalische Bearbeitung von Kohäsionsproblemen zu sehr in Anspruch genommen war. An einem lebenden Exemplare von Tillandsia Gardneri, das mir durch die Güte des Herausgebers dieser Zeitschrift zur Verfügung stand, konnte ich mich aber vor kurzem von der Richtigkeit der damals geäufserten Ansicht überzeugen.

Dafs Mez den erwähnten Fingerzeig übersehen hat, ist ja durchaus verständlich; weniger aber wohl, dafs er von meinen seit Jahren fortgesetzten Untersuchungen über Kohäsionsmechanismen nicht die mindeste Notiz genommen hat. Vermutlich hängt das damit zusammen, dafs das Verhalten der Pflanzenzellen bei Wasserverlust überhaupt noch nicht hinreichend bekannt oder verstanden ist. Die Ursache hiervon scheint mir z. T. die zu sein, dafs es bisher an einfachen physikalischen Vergleichsversuchen gefehlt hat, die die Erscheinungen des Schrumpfelns und der Entfaltung anschaulich vorführen. Daher möchte ich im folgenden zunächst einige solcher Versuche mitteilen, bei denen die pflanzlichen Membranen durch Stücke von Rindsdarm oder Schweins- und Ochsenblase vertreten werden.

Der erste dieser Versuche soll lediglich die Tatsache der Kohäsion des Wassers demonstrieren, der zweite das Schrumpfeln künstlicher Zellen in freier Luft zur Erscheinung bringen. Die Versuche 3, 4 und 5 sollen nachweisen, dafs dieses Schrumpfeln im allgemeinen nicht einfach als „Kollabieren“ eines durch den Wasserverlust haltlos gewordenen Membrangerüstes und ebensowenig als Folge des Luftdruckes aufgefafst werden darf, sondern eine Kohäsionswirkung ist, die unter Umständen einen erheblichen Widerstand zu überwinden vermag. Der Versuch 6 endlich soll dartun, wie bei einer wasserarm gewordenen Zelle die durch den Kohäsionszug gespannte Membran, gleichsam als ob ein Pumpenkolben saugte, bei Zufuhr von frischem Wasser, dieses rasch in den Zellraum hineinzieht (Demonstration der elastischen Enfaltung). Dieser letzte Versuch wird uns dann zu den Verhältnissen bei Tillandsia und anderen Bromeliaceen hinüberleiten.

II.

Versuch 1. Nachweis der Kohäsion des Wassers.

Ein Glasrohr von etwa 15 cm Länge und 6 mm lichter Weite, an dessen einem Ende eine birnförmige Erweiterung von 5 cm Durchmesser angeblasen ist, wird mit Wasser und Quecksilber gefüllt, und zwar wird etwa so viel Quecksilber genommen, dafs die Säule desselben, wenn man das Rohr mit dem Finger schliefst und mit der Erweiterung nach oben aufrecht hält, das engere Rohr ungefähr ausfüllt. Das Rohr ist an zwei Stellen etwas ausgewulstet und trägt zwischen diesen Wulsten lose einen Kupferring, in den drei Drähte eingefügt sind, deren freie Enden sich umbiegen. Vermittelst dieser

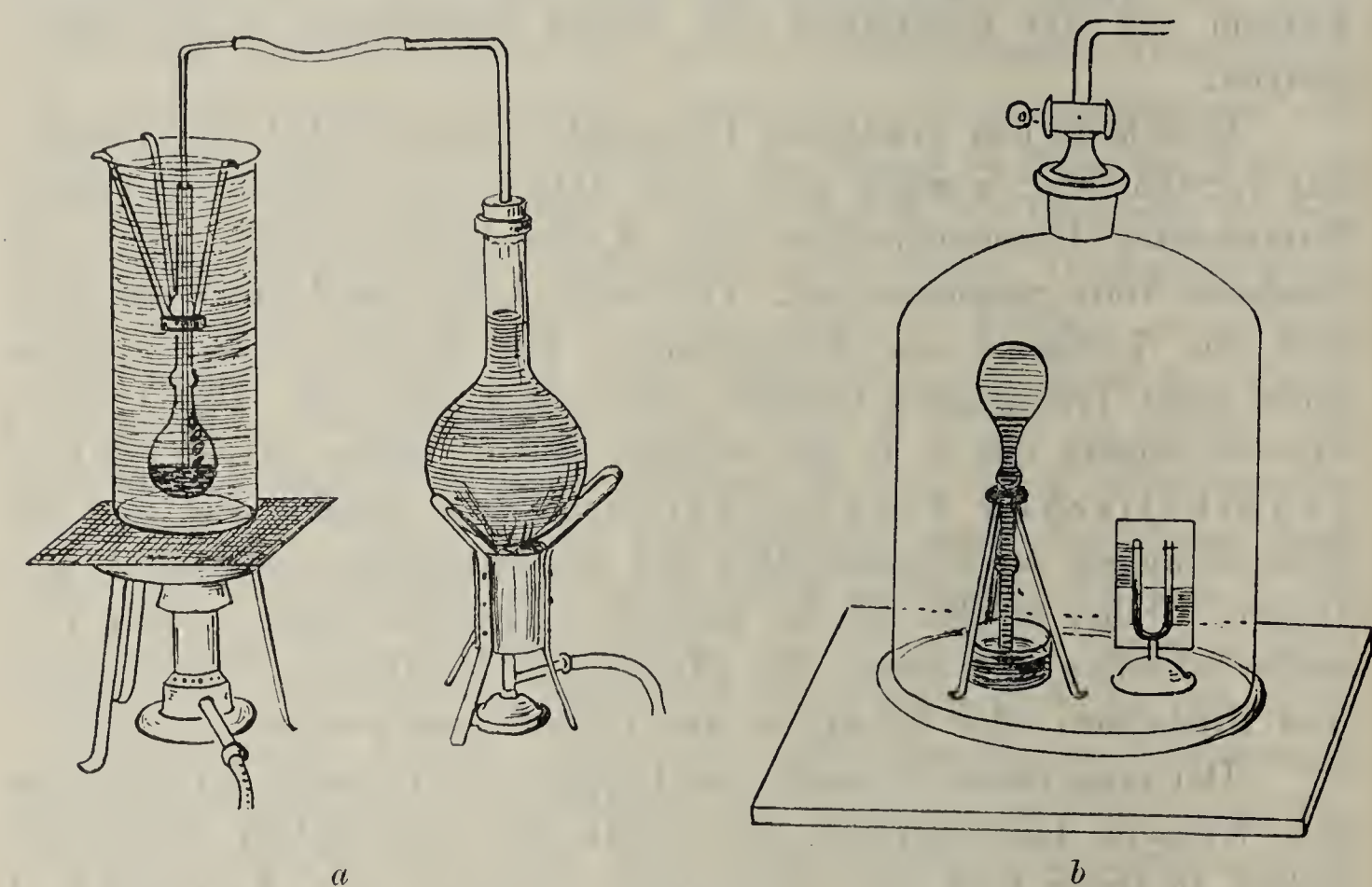

Fig. 1.

hakenartigen Enden wird das gefüllte Rohr in ein Becherglas eingehängt, so dafs die Birne etwa 1 cm vom Boden desselben absteht. Das Becherglas wird nun mit Wasser soweit gefüllt, dafs sich die Rohrmündung etwa 2 cm unter der Wasseroberfläche befindet, und dann auf einem Drahtnetz über eine kräftige Flamme gebracht.

Es handelt sich nämlich darum, die Wände des Kugelrohrs sowie die Flüssigkeit, die es enthält, möglichst von Luft zu befreien. Am raschesten und sichersten geschieht dies, wenn man auch noch in einer Kochflasche Wasser über einer zweiten Flamme erhitzt und den daraus entweichenden Dampf durch ein enges Glasrohr, desen Spitze mit einem dünnen Gummischlauch von etwa $1^1/_2$ cm Länge versehen

ist, auf den Boden des Kugelrohres leitet. Die bald massenhaft austretenden Blasen reifsen beim Aufsteigen auch die sonst an der Innenwand des Kugelrohres haften bleibende Luftschicht mit sich. Ist nach etwa 10 Minuten das Innere das Rohres genügend ausgekocht, so kann man den Dampf, der aus der Kochflasche entweicht, zweckmäfsiger Weise weiterhin benutzen, um die noch sonst im Becherglase hängen gebliebenen Luftblasen fortzuspülen. Man braucht den Dampfstrahl nur auf jene Stellen zu lenken. Mit Hilfe des Gummischlauches gelingt es leicht, den Dampf auch unter die Aufsenwand der Birne zu dirigieren, wo sich die Luftblasen besonders massenhaft sammeln.

Sind keine Luftblasen im Wasser mehr sichtbar, so läfst man das Ganze verdeckt auf die gewöhnliche Zimmertemperatur erkalten. (Hat man Eile, so kann man das Abkühlen durch Einstellen des Becherglases in kaltes Wasser beschleunigen.) Ist die Abkühlung erfolgt, so erfafst man das Rohr am oberen Ende und hebt es in senkrechter Stellung aus dem Wasser, während sich der Ring des Drahtgestells auf den unteren Wulst hinabsenkt. Dann verschliefst man die Rohrmündung mit dem rechten Zeigefinger, kehrt das Rohr um und taucht es aufrecht in einen Napf mit Quecksilber.[1]) In dieser Stellung wird das Rohr durch das Drahtgestell erhalten, dessen freie Enden sich nun als Dreifufs auf die Unterlage stützen und den Glaskörper tragen. Derselbe kommt nun mitsamt seinem Quecksilbernapf und mit einer Barometerprobe auf einer Glasplatte unter einen Rezipienten, aus dem man die Luft etwa durch eine Wasserluftpumpe absaugt.

Die Beobachtung, auf die es ankommt, ist nun die, dafs das Quecksilber im Rohr in seiner Höhe von ca. 15 cm stehen bleibt, wenngleich der Druck im Rezipienten, den man an der Barometerprobe abliest, beispielsweise auf 1 cm gesunken ist. Es ist also nicht der Luft- oder Dampfdruck, der das Quecksilber auf der Höhe von 15 cm erhält, sondern die Kohäsion des Wassers, das seinerseits an der Glaswand haftet. Für die rasche Demonstration des Versuches empfiehlt es sich, denselben soweit vorzubereiten, dafs man das Kugelrohr bei Beginn des Vortrages aus dem Becherglas heben und unter dem Rezipienten aufstellen kann. Hat die Wasserleitung genügenden Druck, so tritt das gewünschte Resultat schon nach einigen Minuten

1) Die obige Anweisung ist so ausführlich gegeben, weil das Gelingen des Versuches davon abhängt, dafs bei dem Aufstellen des Rohres im Quecksilber auch nicht ein kleines Luftbläschen wieder eindringt.

hervor. Vor starken Erschütterungen mufs man dann allerdings den Apparat hüten, da sonst leicht die Wassermasse unter Dampfbildung reifst.[1])

Versuch 2. Schrumpfeln künstlicher Zellen in freier Luft.

Aus frischem Dünndarm vom Rinde schneide man ein etwa 8 cm langes Stück heraus, binde das eine Ende wie einen Wurstzipfel fest zu, lege das andere auf eine Strecke von etwa 2 cm um das Rohr eines gewöhnlichen gläsernen Filtriertrichters und befestige es daran mit Bindfaden luftdicht. Durch den Trichter giefse man nun luftarmes Wasser soweit ein, dafs es auch den Trichter noch z. T. füllt und schnüre dann das Darmstück auch am oberen Ende einige Zentimeter unterhalb des Glasrohres luftdicht ab, so dafs man ein kurzes, prall mit Wasser gefülltes Würstchen erhält.[2]) Dieses hänge man nun an einem trockenen Platze über einem Glasnäpfchen auf oder bette es auf ein über den Napf gelegtes Drahtdreieck. Das Untersetzen eines Gefäfschens ist darum angebracht, weil das Wasser aus der „Zelle“ nicht blofs in Dampfform entweicht sondern durch sein Eigengewicht, sowie anfänglich durch die Spannung der Wand, auch in flüssigem Zustande herausgeprefst wird. Infolge dieses Wasserverlustes tritt nun das Schrumpfeln bald ein. War das Säckchen z. B. an einem Zipfel aufgehängt, so bilden sich, vom oberen Ende aus, immer zunehmende schlaffe Falten, wie bei einem geleerten Tabaksbeutel. Hat man von Anfang an zwei solcher Säckchen hergestellt, so kann man dartun, dafs sich zwischen

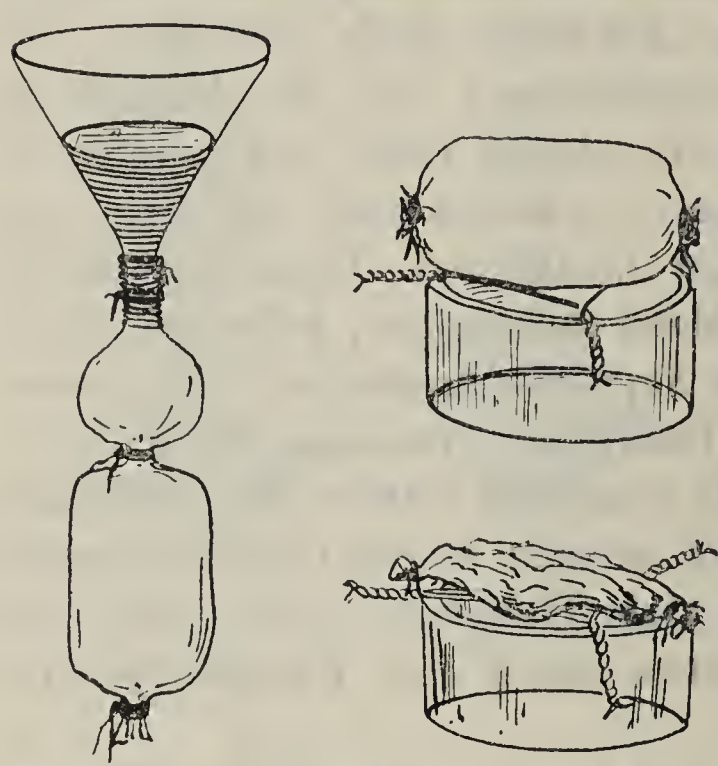

Fig. 2.

1) Daher ist es z. B. geratener, den Apparat in einer Fensternische aufzustellen als auf dem Experimentiertisch. — Das ausgekochte Wasser bewahre man in einer verschlossenen Flasche auf und benutze es zu den folgenden Versuchen.

2) Man achte namentlich beim folgenden Versuch darauf, dafs die Darmfläche, an der etwa noch Fetteile hängen, nach aufsen kommt und die glatte Schleimhaut die Innenseite der künstlichen Zelle bildet. Das Fettgewebe läfst sich nämlich schwer von Luft befreien.

diesen Falten nur Wasser und keine Luft befindet, indem man bei einem der Säckchen die obere Umschnürung löst und mittelst eines Glasröhrchens Luft einbläst. Dieselbe hebt sich nun sofort deutlich vom Wasser ab, indem sie das Licht durchscheinen läſst, während die geschlossen gebliebene Zelle ganz und gar undurchsichtig ist.

Nach einigen Tagen ist diese Zelle vollständig zu einem festen Körper zusammengeschnurrt. Bringt man diesen wieder in Wasser, so quillt die Wandung zwar wieder auf, dagegen schwillt der Hohlraum der Zelle bei weitem nicht zu der früheren Gröſse an, sondern bleibt sehr reduziert. Somit veranschaulicht uns dieser Versuch das Verhalten aller zartwandigen Pflanzenzellen beim Welken und Verdorren. Man versteht hiernach auch, warum dürre Blätter, Rinden usw. im Wasser nicht das ursprüngliche Volumen des saftigen Zustandes wieder annehmen: die Elastizität ihrer Wandungen ist zu gering, um die Zerknitterung aufzuheben.

Versuch 3. Schrumpfeln einer künstlichen Zelle im Vakuum.

Weil man vermuten könnte, daſs das beim vorigen Versuche zu beobachtende „Zusammenfallen“ der Zellen auf dem äuſseren Luftdruck beruhe, empfiehlt es sich, zunächst denselben Versuch im luftverdünnten Raum zu wiederholen. Hierbei bedarf es aber einiger Vorsichtsmaſsregeln. Erstens sorge man dafür, daſs sich bei der Herstellung des „Wasserwürstchens“ zwischen dem unteren Ende des Trichterrohres und dem oberen des Darmstückes nicht Luftblasen halten können. Daher bestreiche man das Trichterrohr, ehe man den Darm darum befestigt, mit etwas Spirituslack und achte darauf, daſs die Umschnürung bis an den unteren Rand des Glasrohres reicht. Nun erst gieſse man luftarmes Wasser ein, so daſs es den Trichter zum Teil mit erfüllt, schnüre aber die „Zelle“ noch nicht sofort ab, sondern senke das Darmstück mit dem Trichter vorerst in ein Cylinderglas, das groſsenteils mit luftarmem Wasser gefüllt ist, derart, daſs der Trichter auf dem Rande dieses Glases aufliegt. Den so hergestellten Apparat bringe man nun mit einer Barometerprobe und einem Glase mit konzentrierter Schwefelsäure unter den Rezipienten der Luftpumpe und setze das Aussaugen so lange fort, bis man konstatiert hat, daſs aus dem Innern des „Würstchens“ für längere Zeit keine Blasen mehr durch den Trichter aufsteigen, obwohl der Barometerstand unter die Dampftension (diese ist, in Millimetern Quecksilber

gemessen, annähernd der Zimmertemperatur in Celsius-Graden gleich) gesunken ist.[1]) Nun darf man sicher sein, dafs das Wasser im Darmstück luftfrei genug ist und kann dasselbe endlich unterhalb des Trichters abschnüren. Man schneidet die Zelle nun vom Trichter ab, bettet sie auf ein Drahtdreieck über einen Napf und bringt sie nebst der Barometerprobe und einem Standglase mit reichlicher Menge von trockenem P_2O_5 (dem Acidum phosphoricum anhydricum albissimum der chemischen Fabriken) unter den Rezipienten zurück. Hat man den Gasdruck in demselben durch die Wasserluftpumpe erheblich unter die Dampftension erniedrigt, so schliefst man den Rezipienten ab und läfst ihn einige Tage stehen. Die künstliche

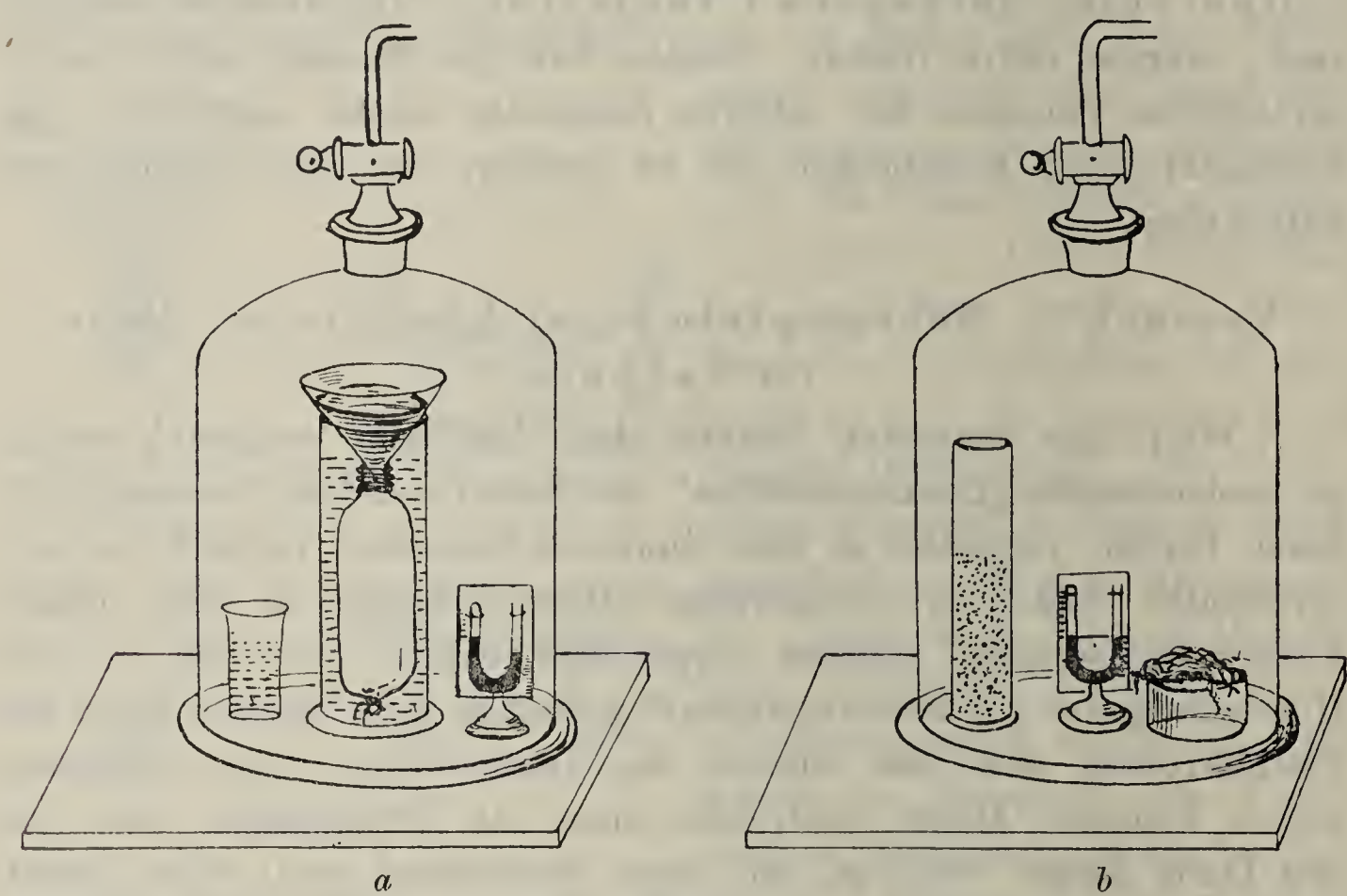

Fig. 3.

Zelle schrumpfelt nun genau so wie in freier Luft und vertrocknet völlig, so dafs die aneinander gesogenen Wandpartien oft so fest miteinander verklebt sind, wie etwa eine Briefmarke an ihren Umschlag, und sich erst nach längerem Liegen im Wasser von einander lösen lassen. Bei den natürlichen Pflanzenzellen tritt dieses Verkitten nur darum nicht ein, weil ihre Wandungen nicht so schleimig-klebrig sind wie die Darmhaut. Im übrigen verhalten sie sich im

1) Am besten läfst man den Apparat in dem evakuierten Raume einige Stunden stehen und überzeugt sich, ehe man ihn herausnimmt, davon, dafs sich auch beim Beklopfen der Glocke keine Blasen mehr entwickeln.

Vakuum, selbst bei der Erniedrigung des Druckes auf annähernd Null, ebenso wie unsere künstliche Zelle.[1])

Versuch 4. Verhalten künstlicher Zellen, deren Membran durch den Wasserverlust gespannt wird, in freier Luft.

Um die inneren Vorgänge beim Schrumpfeln weiter zu verfolgen, überbinde man die weite Mündung eines Glockentrichterrohres von etwa 4—5 cm Trichteröffnung, 6 mm lichter Rohrweite und ungefähr 35 cm Länge mit einem Wandstück längs-aufgeschnittenen Rindsdünndarmes und umschnüre die umgelegten Ränder der Membran mehrfach, um den luftdichten Abschlufs zu sichern. Dies Rohr wird ganz mit ausgekochtem Wasser gefüllt und nach Art des Torricelli'schen Versuches, mit der freien Rohrmündung in Quecksilber tauchend, an einem warmen und trockenen Orte senkrecht aufgestellt. Wenn das Wasser durch die Membran rasch verdunsten kann, so steigt das Quecksilber in dem Glasrohre recht bald. Bei einem Versuche erreichte es in drei Tagen die Höhe von 32 cm. Dabei wird die Membran entsprechend stark nach unten eingezogen.[2])

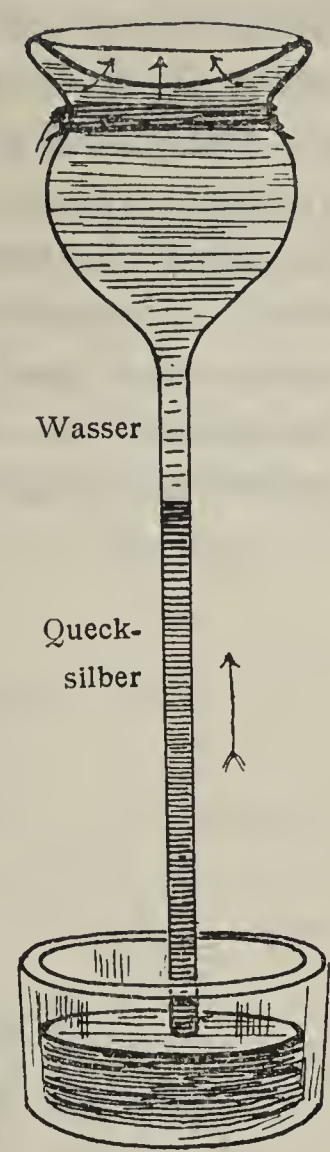

Fig. 4.

Versuch 5. Verhalten einer künstlichen wasserarmen Zelle mit gespannter Membran im „Vakuum".

Die meisten, die den vorhergehenden Versuch kennen lernen, werden sich zunächst noch keine klare Vorstellung von dem Spannungszustande machen, in dem sich das Wasser dabei befindet. Denn sie können sich von der Vorstellung anfänglich nicht loslösen, dafs das Quecksilber einfach durch den Luftdruck hinter dem verdunstenden Wasser hergeprefst würde, ohne seinerseits einen wesentlichen Zug an dem

1) Über den exakten Nachweis hiervon vgl. u. a. Physikal. Zeitschrift 1901, II, pag. 493 ff. und Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. 1900, pag. 217. Für einen gröberen Versuch genügt es, krautige Stengel oder Blattstiele (z. B. von Heracleum), Spargelsprosse, junge Holundertriebe, Apfelstücke oder dergl. im Vakuum der Wasserluftpumpe neben einem Gefäfs mit P_2O_5 austrocknen zu lassen.

2) Nach Askenasy (Verhandl. des Naturhist. Med.-Ver. zu Heidelberg 1896, N. F. V. pag. 6 des Sonderabdruckes vom 6. März 1896) sind solche Versuche von Magnus und Liebig bereits angestellt worden.

Wasser auszuüben. Daher ist es angebracht, in dieser Hinsicht nicht bloſs an den Versuch 1 zu erinnern, sondern einen besonderen Transpirationsversuch im luftverdünnten Raum anzustellen und nachzuweisen, daſs auch dort das Quecksilber weit über die barometrische Höhe emporgehoben wird. Die Vorbereitungen dieses Versuches sind denen des Versuches 1 ganz entsprechend. Man benutzt jedoch nicht ein, teils mit Wasser, teils mit Quecksilber gefülltes Kugelrohr, sondern wie beim vorigen Versuche ein mit tierischer Membran überspanntes Glockentrichterrohr, in das anfangs bloſs Wasser gegossen wird. Man wählt es entsprechend kürzer als beim vorigen Versuche, um es bequem unter dem Rezipienten aufstellen zu können, und benutzt statt Darmhaut, da das Rohr ausgekocht werden muſs, der Sicherheit halber die stärkere Ochsen- oder Schweinsblase. Beim Auskochen darf man das Trichterrohr lose im Becherglase unterbringen, achte aber darauf, daſs das mit einem Gummischlauchende versehene Dampfrohr der Kochflasche nicht zu nahe über der Membran mündet, da diese sonst leiden könnte. Nach der Abkühlung wird das wassergefüllte Trichterrohr, mit der Mündung in Quecksilber tauchend, an einem passenden Stativ aufrecht befestigt (z. B. in einen seitlich geöffneten Ring eingeschoben und daran festgebunden) und nebst der Barometerprobe und einem Standglas mit einem reichlichen Quantum P_2O_5 unter dem Rezipienten untergebracht. Ist der Druck in demselben durch Absaugen einige Millimeter unter den Druck des gesättigten Dampfes gefallen, so schlieſst man den Rezipienten ab und bringt ihn ev. an einem vor Erschütterungen geschützten Orte unter. Bei einem meiner Versuche war das Quecksilber infolge der Transpiration nach 24 Stunden auf eine Höhe von $15^1/_2$ cm gehoben worden, obwohl sich der Druck im Rezipienten nur auf 5—6 mm belief. Hiernach vermag also die Kohäsion des Wassers zu leisten, was man beim vorigen Versuche dem Luftdrucke zuzuschreiben geneigt war. Man wird also auch beim vorigen Versuche den Luftdruck als treibende, das Quecksilber aufwärtspressende

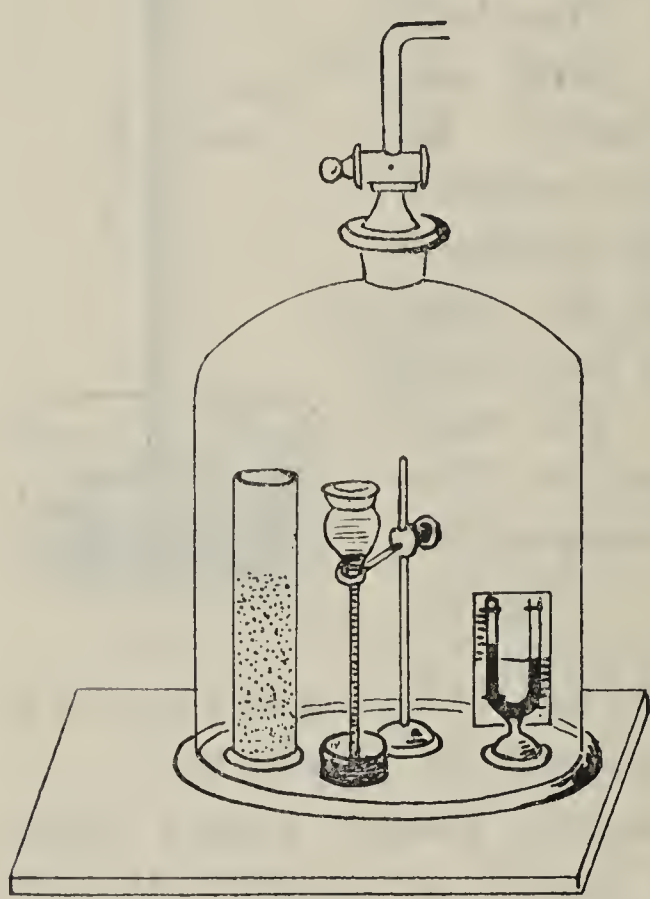

Fig. 5.

Kraft nur in dem Falle heranziehen dürfen, wenn die Kohäsion der Flüssigkeiten zum Hube des Quecksilbers nicht ausreichen sollte. — Nun erwäge man einmal für einen Augenblick, warum wir den benutzten Apparat ausgekocht haben. Es geschieht nur, um die Entwicklung von Luft- und Dampfblasen zu verhindern, die die Kohäsion der Flüssigkeit unterbrechen könnten. In freier Luft ist aber die Gefahr des Auftretens solcher Blasen bei dem hohen Druck, der auf der Flüssigkeit seitens der Atmosphäre lastet, ungemein verringert, d. h. der Zusammenhang der Flüssigkeitsteilchen und ihre Adhäsion an der Wand weit mehr gesichert als im Vakuum. Daher hat man das Aufsteigen des Quecksilbers in Versuch 4, so lange keine Gasblasen auftreten, ebenfalls als Kohäsionszug aufzufassen: das Wasser zieht das Quecksilber in die Höhe; dieses zieht umgekehrt am Wasser. Auf diese Weise kommt das Resultat des folgenden Versuches zustande.

Versuch 6. Die Wiederaufnahme von Wasser durch die Spannungswirkung der Zelle.

Wenn das Quecksilber während des Versuches 4 eine Strecke weit gestiegen ist, so giefse man Wasser in den durch die einwärtsgezogene Membran gebildeten Napf am Gipfel des Glockentrichters. Man wird bald wahrnehmen, wie das Quecksilber sinkt, ein Zeichen dafür, dafs ein beträchtlicher Teil des aufgegossenen Wassers durch die Membran hindurch in das Innere der Zelle gesogen wird.[1]) Dabei flacht sich natürlich die Wölbung der eingezogenen Membran mit dem nachlassenden Zuge mehr und mehr ab; sie bleibt aber immer noch etwas gespannt, weil ja das Gewicht der Wassersäule des Trichterrohres für sich noch spannend wirkt.[2])

Dieser Versuch bringt uns nun die Pumpwirkung, welche die natürlichen Pflanzenzellen im geschrumpfelten Zustande ausüben, in willkommener Weise zur Anschauung. An Stelle des Quecksilbergewichtes wirkt aber saugend in der Natur die elastische Spannung der einwärtsgezogenen Membranen. Man könnte versucht sein, diese Saugung mit der eines Pumpenkolbens zu vergleichen. Jedoch ist der

1) Beispielsweise fiel das Quecksilber einmal, als es nur 6 cm hoch stand, in zwei Minuten um etwa 3,5 cm. Ein andermal fiel es von $16^1/_2$ cm in der ersten Minute um 6, in der zweiten um 3 cm und stand nach vier Minuten mit dem äufseren Niveau gleich.

2) In etwas anderer Form findet sich dieser Versuch schon bei Askenasy (Verhandl. des Naturhist. Med. Ver. zu Heidelberg 1896, 6. März 1896, pag. 13 des Sonderdrucks).

ursächliche Zusammenhang ein anderer als bei der gewöhnlichen Pumpe. Bei unserem Versuche ist nämlich der Luftdruck als dynamischer Faktor, wie besondere Untersuchungen ergeben haben,[1]) unbeteiligt. Man hat sich den Vorgang vielmehr so vorzustellen, dafs das Quecksilber, bzw. in der Natur die gespannte Membran, an dem anhaftenden Wasser zieht, dafs aber dieser Zug sich durch die feinen Poren der Membran auf das Aufsenwasser fortsetzt und dieses vermöge der Kohäsion in das Zellinnere hineinbefördert. Dafs die Kohäsion sich durch diese Poren tatsächlich hindurch erstreckt, kann man nämlich dadurch beweisen, dafs man auch im luftverdünnten Raum Wasser durch eine solche Membran abzuhebern vermag.

III.

Der Saugmechanismus der wasseraufnehmenden Haare bei epiphytischen Bromeliaceen.

Nachdem Schimper (Bot. Zentralbl. 1884, XVII, pag. 320 ff.) auf die Funktion und den eigenartigen Bau der Schuppenhaare von Tillandsia aufmerksam gemacht hatte, hat meines Wissens zuerst Haberlandt (Physiol. Pflanzenanatomie 1896 pag. 209) hervorgehoben, dafs die Membranen der mittleren Haarzellen von Vriesea psittacina beim Wasserverlust wellig verbogen werden (vgl. seine Fig. 81, 82, pag. 208). Nach einem Referat in dem Bot. Centralbl. von 1902 (Bd. 89, pag. 149) beschreibt Hedlund die trockenen Haarzellen von Karatas Plumieri als „Schalen mit doppeltem Boden“, indem die Aufsenwand jeder Zelle so weit eingezogen werde, dafs sie die opponierte Zellwand berühre. Erst beim Wasserzutritt sollen sich diese Membranen wieder trennen und die so entstandenen Räume von neuem mit Flüssigkeit füllen. Wie früher bemerkt, hat auch Mez die Zerknitterung der betreffenden Tillandsiazellen bei dem Wasserverlust und ihre Entfaltung bei neuer Zufuhr der Flüssigkeit nachdrücklich hervorgehoben.

Wenn man sich nun Rechenschaft darüber geben soll, wie diese Formänderungen zustande kommen, so ist es zunächst von Wichtigkeit festzustellen, dafs jenes Verhalten der Haarzellen gar nichts Absonderliches oder gar ihnen allein Eigentümliches ist. Man mache blofs Quer- und Längsschnitte durch das ganze Blattgewebe von Tillandsia, wenn dasselbe zuvor stark ausgetrocknet ist, und betrachte

1) Vgl. hierüber u. a. Physik. Zeitschr. 1901. pag. 493 ff.; Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. 1899 pag. 107 und 1900 pag. 48 ff.

sie in Alkohol. Man wird das ganze Parenchym ebenso zerknittert finden wie die Haarzellen. Es ist dies lediglich die unserem Versuche 2 entsprechende Form wasserarmer Zellen mit zarten Wänden, wie sie jeder schrumpfelnde Apfel, jedes verwelkte Blatt etc. aufweist. Es ist ferner auch leicht, sich entsprechend unserem Versuche 3 davon zu überzeugen, dafs der Luftdruck bei jener Zelldeformation ganz unbeteiligt ist, leicht wenigstens für den, dem der nötige Apparat zur Verfügung steht (vgl. Physikal. Zeitschr. 1901, pag. 493 ff.). Sowohl an ganzen Blattstücken von Tillandsia, wie an mikroskopischen Schnitten derselben tritt die Zerknitterung aller genannter Zellen im Vakuum in unvermindertem Mafse auf.

Noch weit bequemer ist es nachzuweisen, dafs die besprochene Deformation nicht durch die Austrocknung der Membranen bewirkt wird. Man kann nämlich mikroskopische Schnitte von Tillandsia-Blättern vollständig austrocknen lassen, ohne dafs an den Haar- oder Parenchymzellen auch nur eine Spur von Membranfaltung auftritt, wenn man nur das Zustandekommen des Kohäsionszuges verhindert. Zu diesem Behufe lasse man lebende Blattstücke von Tillandsia einige Zeit (eine oder mehrere Stunden) in Wasser liegen, damit sie sich möglichst prall mit Flüssigkeit füllen, stelle davon zwischen Holundermark zarte Quer- und Längsschnitte her und lasse diese, damit sie nicht etwa am Objektträger ankleben, an der Nadelspitze austrocknen. Betrachtet man sie nunmehr unter alc. abs. oder Xylol mit dem Mikroskop, so findet man sämtliche angeschnittene Zellen der Haare und des Parenchyms ebenso weit offen und ebenso faltenlos wie im wassergesättigten Zustande, obwohl die Membranen ganz ausgetrocknet sind. Nur da, wo die Schnitte gröfsere Dicke haben und die Zellen geschlossen geblieben waren, sind die Zelllumina verschwunden oder durch Falten eingeengt.

Bei Antheren, bei Sporangien von Equisetum und Selaginella und bei Moosblättern ist es mir früher gelungen, den Beweis dafür dafs die Austrocknung der Membranen ohne gleichzeitige Kohäsionswirkung kein Schrumpfeln bewirkt, am ganzen unverletzten Organ zu führen, indem ich dasselbe, mit alc. abs. völlig durchtränkt, dem Vakuum aussetzte, wo die Flüssigkeit zu schnell verdampfte, um einen Kohäsionszug ausüben zu können. Bei Tillandsia-Blättern ist mir dieser Versuch jedoch nicht gelungen. Sie trocknen auch unter den angegebenen Umständen nur langsam aus, so dafs sich die Kohäsionswirkung ebenso vollständig wie im Freien vollziehen kann. Offenbar sind ihre Gewebe auf das Festhalten von Flüssigkeit bei weitem

besser eingerichtet als die oben erwähnten Organe. Namentlich werden die Flügel der Haarschuppen in dieser Beziehung für die Pflanze günstig wirken. Denn sie schaffen eine grofse Anzahl ausgedehnter Kapillarräume an der Blattoberfläche, die die Flüssigkeit nur langsam abdunsten lassen. Bei Schuppenhaaren, die durch Abschaben isoliert sind, gelingt es einigermafsen, die Lumina ihrer unverletzten Zellen trotz der Membranschrumpfung offen zu erhalten, wie daraus hervorgeht, dafs man bei neuer Wasserzufuhr die Zeit der Blasenverdrängung in ihren Zellräumen auf die fünf- bis achtfache steigern kann. Das Verfahren hierbei ist ähnlich dem, das ich in dieser Zeitschrift (1903, Bd. 92, pag. 127) von Moosblättern angegeben habe. Doch lohnt sichs nicht, hier näher darauf einzugehen.

Verlassen wir lieber den Prozefs, der durch die Wasserabnahme verursacht wird, und wenden uns den Vorgängen zu, die mit der Wasseraufnahme zusammenhängen. Hier ist wiederum in erster Linie hervorzuheben, dafs sich die Entfaltung im Wasser nicht nur an den Haarzellen, sondern an sämtlichen Zellen des Blattgewebes vollzieht. Wenn nun Mez bei den Haarzellen diesen Vorgang auf die Quellung des Deckels, d. h. ihrer sehr stark verdickten Membran zurückführen will, so fragt es sich, wie er nach dieser Vorstellung das gleiche Verhalten der übrigen Zellen erklären wird, die solche Membranverstärkung von sehr quellungsfähigem Charakter ganz entbehren. Die Heranziehung der Osmose zur Deutung dieser speziellen Vorgänge ist auch nicht zulässig, denn die erwähnte Entfaltung geht bei ganz zarten Schnitten ausgetrockneter Tillandsia-Blätter mit lauter geöffneten (angeschnittenen) Zellen noch prompter vonstatten als bei unverletzten Geweben.

Hiernach hängt die Entfaltung der vollständig ausgetrockneten zerknitterten Haarzellen allerdings mit der erneuten Imbibition der Zellwandung zusammen, aber nicht mit dem Umstande, dafs diese dadurch ihr Volum vermehren, d. h. quellen, sondern damit, dafs die Membranen durch den Wassereintritt aus dem Zustande der Trockenstarre gleichsam erlöst und ihre Teilchen wieder gegeneinander beweglich werden, so dafs die ihnen beim Austrocknen im gefalteten Zustande aufgezwungenen Verschiebungen rückgängig, mit anderen Worten: ihre elastischen Kräfte frei werden. Halbwegs pafst hier der Vergleich mit einem zerknitterten Papierballen, der sich in einer gröfseren Menge Wassers wieder ausbreitet. Ein besseres Beispiel von Trockenstarre habe ich kürzlich gelegentlich meiner Versuche zur Herstellung „künstlicher

Zellen“ aus tierischer Membran kennen gelernt. Als solche benutzte ich nämlich anfangs ganze Harnblasen vom Schwein oder Schaf, wie sie trocken aufgeblasen beim Schlächter zu haben sind. Durch das Einblasen von Luft sind die Wandungen derselben weit über das natürliche Mafs gedehnt und verdünnt worden. Auch der Zutritt von kaltem oder warmem Wasser reicht nicht hin, um diese künstliche Dehnung rückgängig zu machen. Setzt man die Blase aber etwa mit Wasser gefüllt und oben mit einem offenen Glasrohr versehen einige Zeit der Einwirkung von Wasser aus, das nahezu Siedetemperatur hat, so wird man wahrscheinlich überrascht sein zu bemerken, wie sich ihre Dimensionen immer mehr verkürzen und wie dadurch ihr Gesamtvolum (aufsen gemessen) beispielsweise auf den zwanzigsten Teil des vorgängigen sinkt, während sich ihre Wandungen entsprechend verdicken. Offenbar hat also in der trockenen Membran eine Art Starrezustand geherrscht, der erst durch heifses Wasser gehoben wird. Bei den meisten pflanzlichen Membranen genügt hierzu schon Wasser von gewöhnlicher Temperatur.

Kehren wir zu den Tillandsia-Haaren zurück, so ist klar, dafs, so lange ihre Zelllumina noch Wasser enthalten, ihre Membranen einen elastischen Widerstand gegenüber dem Kohäsionszuge der Zellflüssigkeit ausüben. Ihre Saugwirkung erklärt sich also unter diesen Umständen genau so wie die bei Versuch 6 beobachtete. Diese Saugwirkung wächst natürlich mit der Gröfse des Widerstandes, den die Membran dem Einwärts- oder Verbiegen entgegensetzt. Hiermit wird wohl die starke Verdickung des „Deckels“ der Haarschuppen in erster Linie zusammenhängen. Und so erklärt sich der Bau und das Verhalten jener Haare beim Wechsel des Wassergehaltes aus der Kohäsionstheorie, wie mir scheint, ganz ungezwungen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Flora oder Allgemeine Botanische Zeitung

Jahr/Year: 1905

Band/Volume: 94

Autor(en)/Author(s): Steinbrinck Carl

Artikel/Article: Einführende Versuche zur Cohäsionsmechanik von Pflanzenzellen nebst Bemerkungen über den Saugmechanismus der wasserabsorbierenden Haare von Bromeliaceen 464-477