© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

13. C. Steinbrinck: Ueber elastische Schwellung (Entfaltung) von Geweben und die muthmassliche Saugwirkung gedehnten Wassers.

Eingegangen am 28. März 1899.

Einleitung.

Nach dem Vorgange von KAMERLING habe ich in zwei Mittheilungen[1]) die Ansicht vertreten, dass die Oeffnungsbewegungen der Antheren, wie die der Farn- und Schachtelhalmsporangien, auf einem Cohäsionsmechanismus beruhen. Bereits vor dem Erscheinen der zweiten von diesen Publicationen hat aber diese Auffassung von zwei Seiten[2]) eine sehr entschiedene Ablehnung erfahren. Vielleicht wäre diese weniger bestimmt ausgefallen, wenn die ausführlichere Begründung meiner zweiten Abhandlung damals schon vorgelegen hätte. Nach Kenntnissnahme dieser letzteren theilt mir jedoch Herr Geheimrath SCHWENDENER freundlichst mit, dass er trotz ihrer seine ablehnende Stellung beibehalten müsse. Seit dem vorigen August, als die zweite Mittheilung fertiggestellt sein musste, und namentlich in diesem Jahre, habe ich mich nun weiter mit dieser Frage beschäftigt und muss meine Angaben im Allgemeinen und im Einzelnen nicht minder bestimmt aufrecht erhalten. Meine ferneren Untersuchungen beziehen sich allerdings der Hauptsache nach weniger auf den früher behandelten Oeffnungsmechanismus der Antheren, als vielmehr auf die physikalischen Vorgänge, die sich in ihnen abspielen, wenn sie sich bei erneuter Wasserzufuhr mehr oder weniger wiederum schliessen. Die Folgerungen aus diesen weiteren Beobachtungen können aber das Zugeständniss des Cohäsionsmechanismus der aufspringenden Staubbeutel als Grundlage nicht entbehren. Aus diesem Grunde kann ich nicht umhin, die Hauptstützpunkte für meine Auffassung der Oeffnungsmechanik bei den Angiospermen-Staubbeuteln im Folgenden nochmals kurz hervorzuheben. Ich vermag in dieser Hinsicht nicht viel principiell Neues zu bieten und muss mein Bemühen vorzüglich darauf richten, Objecte nachzuweisen, die zur

1) Ber. der deutschen bot Ges. 1898, S. 97 (vorläufige Mittheilung) und SCHWENDENER-Festschrift S. 165 ff.

2) BRODTMANN, Function der mech Elemente beim Farnsporangium und der Anthere; Erlanger Dissertation 1898, und SCHWENDENER, Oeffnungsmechanismus der Antheren, Sitzungsber. der Berl. Ak der Wiss. 1899. S. 101.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Demonstration der von mir behaupteten Erscheinungen in Vorlesungen oder zur Nachuntersuchung derselben in mikroskopischen Praktiken besonders geeignet sind. Für diesen Zweck sind u. A. die Staubbeutel von *Tulipa Gesneriana* und *Digitalis purpurea* vorzugsweise zu empfehlen. Sie sollen aber auch aus dem Grunde Berücksichtigung finden, weil sie in der Liste der Pflanzen aufgeführt sind, für die mein hochverehrter Opponent, Herr Geh. Regierungsrath Schwendener, einen Schrumpfungsmechanismus mit Bestimmtheit behauptet. Im Anschluss daran mögen Versuche mit der Luftpumpe eine Stelle finden, die bestätigen sollen, dass die Oeffnungsbewegungen der Antheren sowohl in ihrem Zustandekommen, wie in ihrem Endresultat von der Höhe des äusseren Luftdruckes unabhängig sind.

Bei diesem Rechtfertigungsversuch wird es sich hauptsächlich um die Klarstellung folgender Punkte handeln.

1. Die Oeffnungsbewegungen der Klappen aufspringender Staubfächer der Angiospermen vollziehen sich (ebenso wie die der Farn- und Schachtelhalmsporangien und mancher Lebermoosschleudern) im Wesentlichen, während ihre dynamischen Elemente noch mit Wasser gefüllt sind.

2. Hierbei werden die Membranen derselben, wie Schnitte durch trockene Antheren erweisen, mannigfach gefaltet und zerknittert.

3. Nach dem vorigen Satze schon reicht das Schrumpfungsmaass der Zellmembranen nicht aus, um die ausserordentliche Verkürzung und Krümmung hervorzubringen, die an ganzen Antheren makroskopisch zu constatiren ist. Dass der Schrumpfungs-Coefficient hierzu bei Weitem zu niedrig ist, lässt sich aber auch auf andere Weise belegen und zwar:
   a) durch die Austrocknung dünner Querschnitte,
   b) durch das Verhalten isolirter Faserzellen, bei denen die Cohäsionswirkung unterbleibt,
   c) durch die Trockenform ganzer Klappen- und Faserzelllagen unter gewissen Umständen im Vacuum.

4. Folgt aus dem Vorigen, dass die Fortdauer des Zwangszustandes, der den Antherenklappen durch den Zug des Füllwassers ihrer Elemente aufgenöthigt ist, nach dem Wegfall dieses Zuges nicht auf Membranverkürzung beruht, so lässt sich ferner durch Versuche mit der Luftpumpe nachweisen, dass das Verharren der Antherenzellen in ihrer Deformation auch nicht durch den Luftdruck bedingt ist. Dass ihre dynamischen Zellwände nicht, wie bei dem Farnannulus und dem Schleuderapparat mancher Lebermoose, elastisch zurück-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

springen, sondern verbogen bleiben, kann somit nur auf der gegenseitigen Adhäsion enggepresster Wandpartien oder darauf beruhen, dass die Membranen in Folge der Wasserentziehung ihre Geschmeidigkeit verloren haben und in zerknittertem Zustande starr geworden sind.

Sobald die vorstehenden Sätze zugegeben werden, ist es unbestreitbar, dass auch die Rückkehr aus der Trockenform zur ursprünglichen nach erneuter Wasserzufuhr bei den Antheren eine andere Ursache hat, als bei den bekannten Schrumpfungsmechanismen und namentlich nicht auf dem Zuge excessiv quellender Membranen beruht. Wir haben es hier in der That nicht mit Quellung, sondern mit „Entfaltung“[1]) von Membranen zu thun. Das treibende Agens derselben ist die frei gewordene Elasticität der vorher durch den Cohäsionszug des Wassers angespannten Verdickungsmassen der Wandungen. Diese Erscheinung sei im Anschluss an die „osmotische Schwellung“ (SACHS), wie wir sie beispielsweise bei lebenden Markcylindern beobachten, als „elastische Schwellung“ oder „elastische Entfaltung“ bezeichnet.

Mit diesem einigermassen neuen Begriffe beschäftigt sich der Abschnitt II dieser Mittheilung. Leider kann ich in diesem kein abgeschlossenes Resultat liefern. Es treten dabei zu viele wenig bearbeitete Fragen auf, die noch vielseitigerer Erörterung bedürfen. Zudem bin ich mitten in der experimentellen Untersuchung durch den Bruch eines Apparates gehemmt worden. Da die Reparatur desselben und die Verbesserung der experimentellen Anordnung einer längeren Zeit bedarf, so benutze ich die Musse, um die hypothetischen Schlussfolgerungen, zu denen ich bisher auf diesem Gebiete gelangt bin, einem weiteren Kreise vorzutragen und dadurch vielleicht geschulte Kräfte zur Mitarbeit an diesen Problemen anzuregen. Ich werde mich dabei vornehmlich auf die physikalische Analyse eines der zwei Hauptfälle beschränken, die uns bei der erneuten Schwellung der Staubbeutelwandungen entgegentreten. Es ist dies der physikalisch einfachere Fall der „gewelkten“, nicht der „trockenen“ Staubbeutel, d. h. der Fall, in dem die Antherenklappen zwar contrahirt sind, aber noch lauter wassergefüllte Faserzellen aufweisen. In diesem Zustande können nämlich die Antherengewebe, während die Staubfächer weit geöffnet sind, unter günstigen Umständen stunden- und tagelang verharren. Ein zugeführtes Wasserquantum nehmen ihre todten Faserzellen dann ungemein rasch in sich auf und stellen so kleine Pumpwerke dar, wie sie einfacher kaum gedacht werden können. Denn ihre Betriebskraft ist ihnen

1) Dieses Wort im ursprünglichen Sinne genommen.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

auf dem Wege der Wasserverdunstung unmittelbar durch die Sonnenwärme geliefert worden. Ihr Vorrath an potentieller Energie beruht ja auf der Anspannung ihrer elastischen Wandverdickungen vermittelst der Cohäsion des schwindenden Füllwassers. Der elastische Zug, den diese gespannten Membranen ihrerseits wiederum auf das Binnenwasser der Zelle ausüben, entspricht dem Kolbenhube einer gewöhnlichen Saugpumpe; jedoch, so lange diesen Zellen kein äusseres Wasser zur Aufnahme zur Verfügung steht, dem Hube des Kolbens in einem wassergefüllten Behälter, der hermetisch von der Luft abgeschlossen ist.

Dieser zweifellos hinkende Vergleich soll nur nachdrücklich daran erinnern, dass zum Einsaugen von Wasser in den Pumpenstiefel der Hub des Kolbens allein nicht ausreicht, sondern als vis a tergo bekanntlich der Druck der äusseren Luft hinzukommen muss. Welches ist aber bei unseren kleinen wasseransaugenden Zellen diese vis a tergo? Ist es etwa ebenfalls der Druck der äusseren Atmosphäre auf das benetzende Aussenwasser? Hinsichtlich der trockenen Antheren hat sich SCHRODT[1]) zu dieser Auffassung wenigstens zum Theil bekannt; in die wasserleeren Zellen soll nach ihm anfänglich der Luftdruck das Aussenwasser hineintreiben.

Die Erforschung dieser unbekannten vis a tergo ist der Angelpunkt des zweiten Abschnittes der vorliegenden Mittheilung. Wie schon oben bemerkt, bin ich mitten in meinen Versuchen unterbrochen worden. Ich glaube aber so viel aus denselben entnehmen zu können, dass der Luftdruck das gesuchte Agens wahrscheinlich nicht ist, dass wir es vielmehr mit Molecularkräften des flüssigen Wassers zu thun haben, die bisher sowohl rein physikalisch, als biologisch noch nicht hinreichend gewürdigt worden sind.

I. Der Spannungsvorgang der dynamischen Membranen beim Wasserverlust unter dem Cohäsionszuge des Wassers.

1. Zum bequemen Nachweis der Wassererfüllung aufgesprungener Antherenklappen in jüngeren Blüthen eignen sich nicht alle Pflanzen. Bei manchen, z. B. den Tulpen, stört die papillöse Epidermis das klare Hervortreten des Faserzellennetzes; in anderen Fällen hindern Farbstoffe die Durchsicht. Ceteris paribus bieten die passendsten Objecte grosse Antheren, deren Klappen wenigstens anfänglich kaum auswärts gekrümmt sind, wie die von *Crocus* und *Lilium*. Solche kann man nach dem Abschneiden der Klappen ohne Deckglas auf dem Objectträger prüfen. Andere, wie *Caltha* und *Papaver*

1) Ber. der d. bot. Ges. 1898, S. 330.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Argemone wird man meist durch den Druck eines Deckglases erst flach ausbreiten müssen. — Will man nur das Einrollen solcher Klappen im wassergefüllten Zustande beim Abdunsten des Wassers beobachten, so genügen ältere Antheren, die vorher im Wasser aufgeweicht sind. Selbstverständlich ist dazu ein Objectiv mit weitem Abstande der Linse vom Objectträger nöthig, damit sich die Linse nicht durch Dunstbeschlag trübt. — Zur Prüfung ganzer isolirter Faserzelllagen sind mässig macerirte Antheren von *Liriodendron* und *Clematis* zu empfehlen, deren Epidermis sich nach der Maceration durch Salpetersäure leicht abziehen lässt.

2. Wenn es sich um die Feststellung der starken Faltung der Faserzellenmembranen ausgetrockneter Antheren handelt, so mache man Quer- und Tangentialschnitte durch die Staubbeutel von *Digitalis purpurea*. Diese stellen in ausgetrocknetem Zustande fast ebene dicke Platten dar, ihr Faserzellgewebe ist mehrschichtig, und auch die dünneren Membranfelder derselben sind ziemlich derb. In Folge dessen lassen sich leicht zarte Schnitte derselben herstellen, die sowohl die Verbiegung der Radialwände, als die der Tangentialwandungen recht deutlich darbieten. Zur Demonstration der tiefgehenden Falten in der Aussenwand der Faserzellen eignen sich ferner besonders auch *Tulipa Gesneriana*. *Clematis Viticella* und *Liriodendron*. Bei den Längsbankzellen der letzteren beiden würde man allerdings nach einer Faltung der Radialwände vergeblich suchen. — Die Schnitte untersuche man nach dem Eintragen in Alc. abs. bezw. in Xylol und absoluten Alkohol nach einander, in concentrirtem Glycerin oder in Glyceringelatine, da sich in Canadabalsam die Wände zu wenig vom Einbettungsmittel abheben.[1])

3a. Will man sich davon überzeugen, dass beim Wegfall des Cohäsionszuges auch die sonst eintretende überaus starke Contraction, und Auswärtskrümmung der Klappen unterbleibt, so fertige man beispielsweise von weit geöffneten Tulpenantheren, die in Alc. abs. eingelegt waren, dünne Querschnitte an, in denen recht viele der Griffzellen geöffnet sind. Beim Eintragen der Schnitte in Wasser entrollen sich diese in der Regel unter starker Ausdehnung völlig, indem sich die vier Klappenarme zurückbiegen. Diese Bewegung erweckt allerdings zunächst den Eindruck, als ob die Rückkehr in die ursprüngliche Form durch Membranquellung bedingt sei. Dass die Entfaltung der Schnitte aber lediglich auf der Entspannung der

1) Wenn SCHWENDENER die Faltung der äusseren Tangentialwand bestreitet, so sei es mir gestattet, darauf hinzuweisen, dass diese bereits von SCHINZ und SCHRODT bei 12 Gattungen behauptet worden ist. Ich habe dieser Liste nach sorgfältigster Untersuchung nicht weniger als 30 fernere Gattungen hinzufügen können. (Vgl. Jaarboek der Dodonaea 1896, S. 288—290, im Sonderabdruck S. 70 u. 72.)

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Membranen beruht, die durch das in den Faltencomplex eindringende Wasser aus ihrem Starrezustand erlöst sind, lehrt die Gegenprobe. Man verdränge das Wasser durch aufgetropften Alcohol absolutus. Hierdurch nimmt die Festigkeit des Schnittes ohne erhebliche Formänderung desselben zu. Und dies ist insofern ein Vortheil, als man nun die Schnitte, falls sie nicht allzu zart sind, mit ausgestreckt bleibenden Klappenarmen auf die Nadel bringen und dort frei austrocknen lassen kann. Sie ändern nun ihre Form um so weniger, je zarter sie sind; die Contraction erreicht auch nicht entfernt das gewöhnliche Maass, das man an ganzen Antheren wahrnimmt. Gröbere Querschnitte mit zahlreichen nicht geöffneten Griffzellen bleiben dagegen bei gleicher Behandlung in dieser Hinsicht hinter ganzen Klappen nicht zurück[1]). — Auch *Clematis Viticella* und *Liriodendron Tulipifera* sind für diese Prüfung sehr zu empfehlen. Bei Querschnitten anderer Antheren unterbleibt manchmal nicht bloss die Austrocknungsbewegung, sondern auch die Entfaltung der trockenen Schnitte im Wasser. Ich habe dies noch vor Kurzem z. B. bei *Gladiolus* und *Digitalis* beobachtet. Ja, von *Gladiolus* habe ich zur Zeit seit 8 Tagen ganze Antheren im Wasser liegen, deren Klappen sich noch nicht entfaltet haben. — Das Ausbleiben der Trockencontraction dünner Antherenquerschnitte, das mir im Laufe mehrerer Jahre bei verschiedenen Pflanzen aufgefallen ist, zählt zu den Hauptargumenten gegen die Auffassung von Leclerc du Sablon, die neuerdings von Schwendener wieder vertheidigt worden ist, wonach die Einrollung der Antherenklappen auf dem Zuge der sich enorm verkürzenden Aussenwand der Faserzellen beruhen sollte. Dieses negative Ergebniss im Verein mit der Faltung derselben Wandung waren es gerade, die zu dem Schlusse führten, den Sitz der krümmenden Kraft in die Radialwandungen der Faserzellen zu verlegen, einem Schlusse, der hinfällig wurde, als sich auch diese als gefaltet herausstellten.

3b. Wenn man Faserzellen, die durch Maceration isolirt sind, während des Austrocknens beobachtet, so trifft man neben solchen, welche die typische Cohäsionscontraction darbieten, oft auch solche, in denen, aus bisher unbekannten Gründen, der Riss des Wassers zu früh eintritt. An diesen lässt sich das Maass der Membranschrumpfung feststellen. Da die Spiralfaserzellen des *Equisetum-*

---

1) Vermuthlich ist Schwendener zu seinen Einwendungen gegen meine Darstellung durch solche gröbere Schnitte veranlasst worden. Das „Schwarzwerden" der Schnitte durch Auftreten von Luftblasen in den oberflächlichen Zellen, von denen doch kaum eine nicht angeschnitten sein dürfte, bietet doch noch keinen Beweis dafür, dass auch die Zellen der mittleren Höhenregion in diesen Schnitten ebenfalls wasserleer sind. Auf den Unterschied im Verhalten dünner und grober Schnitte habe ich übrigens bereits in der vorläuf. Mitth. l. c. S. 100 aufmerksam gemacht.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Sporangiums ebenfalls die enorme Cohäsionsverkürzung der Antherenzellen zeigen, sich durch ihre Länge und derbe Wandstructur vor diesen aber auszeichnen, so habe ich sie zu vergleichenden Messungen gewählt In der vorl. Mittheil. S. 100 habe ich über solche berichtet. Während die Cohäsionsverkürzung bei derartigen Zellen bis auf etwa 60 pCt. anstieg, blieb die Membranschrumpfung bei 20—25 pCt. stehen.

3c. Für Antheren bot sich mir ein bequemeres Vergleichsmaterial gelegentlich meiner Luftpumpenversuche. Zu denselben diente eine erst jüngst bezogene Quecksilberpumpe, die ausgezeichnet functionirte. Mit ihr in Verbindung stand ein Apparat aus zwei Glaskugeln, ähnlich demjenigen, den KOLKWITZ in den Ber. der d. bot. Ges. 1897 S. 107 abgebildet hat[1]). Setzte ich Stücke von wasserdurchtränkten fibrösen Antherengeweben in dem kleinen Glaskämmerchen des Kugelapparates plötzlich der Einwirkung eines möglichst luftleeren Raumes aus, so kam es, da das Füllwasser der Faserzellen mit reissender Schnelligkeit verdampfte, nicht selten vor, dass dieses gewissermassen nicht Zeit fand, vorher die Cohäsionsverkürzung zu vollziehen. Ich nahm dann unter dem Mikroskop das momentane Auftreten von Blasenräumen in den Faserzellen dieser Gewebe wahr, ohne dass eine erhebliche Verkürzung der Gewebe stattfand. Die Klappen blieben mässig gewölbt und bewahrten annähernd ihre ursprüngliche Breite. Ich operirte dabei mit Faserzelllagen von *Liriodendron* und mit Antheren von *Crocus*. Der Unterschied gegenüber dem gewöhnlichen Verhalten trat besonders scharf hervor, als ich genau dieselben Stücke, nachdem sie wieder durchtränkt waren, auf's Neue in der freien Atmosphäre austrocknen liess. Die vorher flach gewölbt gewesenen Gewebsstreifen von etwa 1—2,5 *mm* Breite zogen sich nunmehr unter dem Einfluss der Cohäsionswirkung des Wassers zu fadendünnen Röllchen zusammen.

4. Die eben vorgetragenen Ergebnisse könnten den Schein erwecken, als ob die Herstellung der extremen Trockenkrümmung die Mitwirkung des Atmosphärendruckes erfordere. Dem ist jedoch nicht so. Die Austrocknung vollzieht sich in der angegebenen Weise nur dann, wenn die zu prüfenden Gewebsstücke ziemlich klein gewählt, und wenn sie zwar völlig wasserdurchtränkt, aber, ehe sie dem verminderten Luftdruck ausgesetzt werden, äusserlich nur wenig benetzt sind. Dass ich anfänglich bei meinen Versuchen gerade diese Bedingungen inne zu halten suchte, ist ja leicht erklärlich. Denn je

1) Um die Objecte während der Austrocknung im Vacuum auch mikroskopisch prüfen zu können, war das Kämmerchen, das dieselben aufnahm (das „Glasmützchen" KOLKWITZ') nicht cylindrisch gebaut, sondern flach gepresst und ebenwandig.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

geringer die Wassermenge war, die zur Verdampfung gelangte, um desto mehr konnte ich mich bei der Versuchsanstellung dem absoluten Vacuum nähern. Bei diesen Versuchen war nun das Verhältniss zwischen dem Inhalt des Kämmerchens für die Objecte und des vorher evacuirten Raumes jedenfalls noch günstiger als bei einigen Versuchen von KOLKWITZ. Denn der Raum des Kämmerchens betrug sammt der Zuführung kaum $^1/_8$ *ccm*, der des evacuirten Raumes des Kugelapparates und der Luftpumpe selbst etwa $2^1/_2$ Liter. Das Barometer der Pumpe blieb auch nach hergestelltem Anschluss des Kämmerchens fast genau auf dem Nullpunkte stehen. Dies ermuthigte mich, auch grössere dynamische Gewebsstücke von Antheren, z. B. die Hälfte einer Bankzellenlage von *Liriodendron* oder ein Drittel eines Staubbeutelfaches von *Crocus* (dieses quer getheilt) reichlich benetzt in das Kämmerchen des Apparates einzutragen und später über diese Maasse noch hinauszugehen. In diesen Fällen erfolgte stets dieselbe Contraction und Einrollung der fraglichen Objecte, wie sie in der freien Atmosphäre zu beobachten ist, obwohl hierbei die Barometerprobe der Pumpe als Druck nur einen kleinen Bruchtheil eines Millimeters anzeigte. Somit dürfte es keinem Zweifel unterliegen, dass die Trockenform der Antherenklappen in ihrem Zustandekommen und ihrem Endzustande vom Luftdruck nicht wesentlich beeinflusst ist.

II. Die Entspannung der Membranen bei Wasserzufuhr.

1. Versuche mit der Luftpumpe. Um das Verhalten benetzter geöffneter Antheren im luftverdünnten Raume zu studiren, genügte die kleine Kammer, die bei den Austrocknungsversuchen als Recipient verwendet worden war, nicht mehr. Denn, da ich zur gleichzeitigen Controle des im evacuirten Raume herrschenden Luftdruckes die Pumpe nebst ihrem Trockengefäss und der Barometerprobe während des Versuches mit dem Zweikugel-Apparat in Verbindung liess, so verdampfte das Wasser des kleinen Kämmerchens bei dessen Anschluss an den grossen und trockenen luftleeren Raum so rasch, dass es dem zu prüfenden Objecte sofort an Wasser fehlte.

Ich liess daher statt dieses kleinen Behälters einen anderen, ebenfalls flach gepressten und ebenwandigen von denselben Dimensionen herstellen, in dessen Beobachtungsraum durch eine seitlich angeschmolzene enge Glasröhre aus einem trichterförmigen Gefässchen beim Oeffnen eines Hahnes Wasser zugeführt werden konnte. Beim Arbeiten hiermit war es aber nicht zu vermeiden, dass Flüssigkeit durch das Kämmerchen hindurch in die erste Kugel des KOLKWITZschen Apparates hinübergerissen wurde und zeitweilig auch die enge Verbindungsröhre zwischen dieser Kugel und der Kammer capillar

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

verstopfte. Dieser Umstand legt mir bei der Beurtheilung der Versuchsergebnisse eine gewisse Reserve auf. Denn wenn auch die Barometerprobe während der gelungensten Versuche nur einen Druck von etwa 1 *mm* anzeigte, so bin ich doch nicht sicher, ob nicht innerhalb des Kämmerchens der Druck die Höhe der Dampfspannung des gesättigten Raumes vorübergehend erreicht oder gar überschritten hat. Da die Zimmertemperatur des Versuchsraumes während dieser Experimente nur 2—3 ° Cels. betrug, so hätte sich darnach die Dampfspannung im Recipienten zeitweilig auf etwa 5,5 *mm* belaufen können. Innerhalb des luftverdünnten Kugelapparates war die Temperatur übrigens in Folge der starken Wasserverdunstung noch geringer, denn ein Theil des hinübergerissenen Wassers gefror darin sofort.

Ich habe die Versuchsanstellung noch verschiedentlich abgeändert, will jedoch hier nicht darauf eingehen, da das Experiment doch der Wiederholung bedarf. Die Objecte, mit denen ich operirte, waren Stücke von *Crocus*-Antheren und der Bankzellenlage von *Liriodendron*, und zwar verwendete ich theils gänzlich ausgetrocknete, theils noch wassergefüllte, aber stark contrahirte Gewebe. Bei *Crocus* nahm ich im letzeren Falle einfach aufgesprungene Antheren jüngerer Blüthen, die natürlich erst mikroskopisch auf die volle Wassererfüllung ihrer Faserzellen geprüft waren.

Das Resultat war in allen Fällen dasselbe. Die Schwellung trat auch im luftverdünnten Raume nicht minder vollständig, wenn nicht gar rascher ein, als in der freien Atmosphäre.

Hinsichtlich der Objecte, die mit wassergefüllten Zellen zur Prüfung gelangten, könnte man nun vielleicht geltend machen, dass ein Ueberdruck der Luft von einigen Millimetern Quecksilber immerhin genügen möchte, um weiteres Wasser in die Zellen zu pressen. Bei den trocken verwendeten Objecten lässt aber auch dieses Auskunftsmittel im Stich. Denn bei Versuchen mit diesen kommt im Gegentheil der Ueberdruck zweifelsohne der Binnenluft der Faserzellen zu. Wenn diese trotz ihres höheren Druckes aus dem Zellraume verdrängt und durch Wasser ersetzt wird, wie es thatsächlich geschieht, so wird auch in der freien Atmosphäre die Mitwirkung des Druckes derselben unnöthig sein.

2. Luftgehalt der Faserzellen trockener Antheren.

Das eben angeführte Argument dürfte zunächst auf Widerspruch stossen. Denn KAMERLING und SCHWENDENER sind ja auf Grund theoretischer Erwägungen zu dem Schlusse gelangt, dass die Faserzellräume trockener Staubbeutel sehr luftverdünnt, wenn nicht gar luftleer wären. Auch ich habe mich anfangs diesem Standpunkt zugeneigt, bin aber später davon zurückgekommen. Die Frage erfordert eine eingehendere Besprechung.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Die Thatsache, welche KAMERLING und SCHWENDENER zu der angegebenen Auffassung veranlasst hat, ist die, dass die Blasenräume der trockenen Faserzellen bei Wasserzufuhr auffällig rasch (etwa im Laufe einiger Minuten) verschwinden, während sie in anderen Fällen (Haare, Kork) oft tage- oder wochenlang erhalten bleiben. Dieselbe Erfahrung wie bei den Antheren hat man aber auch an Farnsporangien gemacht. Und von diesen hat SCHRODT[1]) überzeugend nachgewiesen, dass die Luftverdünnung in ihnen jedenfalls eine ziemlich beschränkte ist. Er verfuhr hierbei in der Weise, dass er unter dem Mikroskop concentrirte Schwefelsäure auf die Wandungen der trockenen Sporangien einwirken liess und das Hervorbrechen beträchtlicher Blasen aus den einzelnen Annuluszellen constatirte, sobald deren Wand irgendwo zerstört war. Wendet man dasselbe Hilfsmittel auf trockene Antheren, etwa auf isolirte Bankzelllagen von *Clematis* und *Liriodendron*, oder auf die Spiralfaserzellen des *Equisetum*-Sporangiums an, so kann man sich auch hier von dem Hervorperlen der Luftblasen aus den einzelnen dynamischen Zellen überzeugen. Es ist nicht zu leugnen, dass die ausgestossenen kugeligen Luftblasen namentlich bei Farnsporangien oft den Eindruck machen, als ob sie an Grösse hinter dem Maasse zurückblieben, dass sie besassen, so lange sie noch im Zellraum eingeschlossen waren. Jedoch ist andererseits zu beachten, wie sehr man bei der vergleichenden Schätzung des Rauminhaltes eines kugelförmigen und eines gestreckten Körpers zur Täuschung zu Ungunsten des ersteren geneigt ist. Allerdings habe ich einmal in Farnsporangien, die ich sofort nach dem Schnellen in Schwefelsäure brachte, die freiwerdenden Luftblasen erheblich kleiner gefunden, als in Sporangien derselben Herkunft und desselben Alters, die nicht erst wieder in Wasser aufgeweicht und zum Schnellen gebracht worden waren. Als ich aber nun eine Portion dieser letzteren und eine andere von denjenigen, die eben geschnellt hatten, getrennt in Wasser brachte, konnte ich nicht constatiren, dass jene erheblich längere Zeit zur Blasenverdrängung und Wasseranfüllung gebraucht hätten, als diese.

Eine ähnliche Erfahrung machte ich mit Bankzellen von *Liriodendron*. Ich brachte nämlich Stücke, die im Vacuum ohne Cohäsionsverkürzung ausgetrocknet waren (s. 3 c, S. 105), nachdem sie längere Zeit völlig trocken an der Luft liegen geblieben waren, unter dem Mikroskop in Wasser und verglich die Zeit, die diese Stücke zur völligen Verdrängung der Blasenräume ihrer Zellen brauchten, mit derjenigen, die nöthig war, um trockene Stücke völlig mit Wasser zu erfüllen, die sich in der freien Luft unter starker Cohäsionsverkürzung eingerollt hatten. Einmal waren die beiden Vergleichsobjecte die obere

1) l. c. S. 326.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

und die untere Hälfte einer und derselben Bankzellenschicht einer *Liriodendron*-Klappe. Das Ergebniss fiel eher zu Ungunsten der Stücke aus, die im luftverdünnten Raum ohne Cohäsionsverkürzung getrocknet waren. Meine Absicht, die Anzahl dieser Versuche zu vermehren und sie dahin zu ergänzen, dass in der Luftleere getrocknete Gewebe sofort nach der Austrocknung in Wasser oder Schwefelsäure gebracht, oder wenn möglich, im luftverdünnten Kämmerchen selbst mit dem letzteren Reagens geprüft würden, ist durch den erwähnten Bruch des Apparates leider vereitelt worden. Ich kann daher meine Erfahrungen nicht als allgemein gültig hinstellen und muss mich damit begnügen, über sie als einzelne Vorkommnisse zu berichten.

Mein Urtheil über die ganze Frage kann daher ebenfalls nur hypothetisch gefasst werden. Nach meinen Erfahrungen scheint mir aber die von KAMERLING herrührende Auffassung, als ob die Membran der Cohäsionsmechanismen für Luft ungemein schwer durchlässig wäre, nicht zu halten. Das rasche Verschwinden der Blasenräume trockener Zellen, die sicherlich lufthaltig sind, lässt eher auf das gerade Gegentheil, nämlich grosse Durchlässigkeit für Luft schliessen, wenigstens soweit die feuchte Membran in Frage kommt. Dass die trockene Membran ganz undurchlässig sein sollte, kommt mir ebenfalls unwahrscheinlich vor. Zwar ist anzunehmen, dass ein Theil der Luft, die sich nach dem Austrocknen der Zelle in ihr befindet, schon während ihrer Contraction zwischen die Molecüle des stark gedehnten Wassers eingedrungen ist, und ein anderer Theil sofort nach dem Risse des Füllwassers durch die momentan noch feuchte Membran eintritt. Wie konnte aber Luft in die *Liriodendron*-Bankzellen, die in der „Luftleere“ getrocknet waren (siehe vorige Seite), anders als durch die trockene Wand eindringen?

Uebrigens ist die theoretische Nöthigung zur Annahme einer starken Luftverdünnung in trockenen Antherenzellen, wie sie auch SCHWENDENER ausspricht, meiner Meinung nach nur eine scheinbare. Die Luftdruckverminderung tritt ja in ihnen von selbst bei Wasserzufuhr ein, sobald die Zellräume unter dem elastischen Zuge der Membranen ausgedehnt werden.

Neben der grossen Durchlässigkeit der Membran scheint mir diese elastische Ausdehnung der Membran die zweite Ursache für die rasche Verdrängung der Blasen zu sein. Dieser Ansicht wird allerdings entgegengehalten werden, dass die Luftblasen in angeschnittenen Zellen weit langsamer verschwänden, bei Farnannuli nach PRANTL, SCHRODT und BRODTMANN sogar nach Stunden noch unverändert erhalten seien. Hinsichtlich der Farnsporangien will ich diese Angabe nicht bezweifeln. Die Ausdehnung derselben auf *Equisetum*-Sporangien und Antheren muss ich aber entschieden bekämpfen. Man

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

bringe in Luft abgeschnittene trockene Stücke von Schachtelhalmsporangien oder von dem fibrösen Gewebe der *Liriodendron*- oder *Clematis*-Anthere in Wasser. Man wird stets finden, dass zwischen den angeschnittenen, doch zweifellos mit Luft von Atmosphärenspannung erfüllten Rand- und den geschlossenen Binnenzellen kein Zeitunterschied hinsichtlich ihrer Wasserfüllung zu verzeichnen ist.

Der Schluss, den ich aus allem hier Vorgetragenen ziehe, ist der, dass aus den trockenen Antherenzellen bei Wasserzufuhr unter allen Umständen von einem gewissen Momente an Luft zu verdrängen ist, deren Spannung von dem ausserhalb der Zelle herrschenden Luftdruck nicht erheblich abweicht, zu deren Austreibung mithin die Mitwirkung von Molecularkräften der Flüssigkeit unentbehrlich ist.

3. Die elastische Schwellung contrahirter, aber noch wassergefüllter Antherengewebe.

Nicht bloss nach dem mitgetheilten Versuchsergebniss, sondern auch aus theoretischen Gründen scheint mir die Unabhängigkeit der Schwellung wassergefüllter Gewebe von der Höhe des äusseren Druckes sehr wahrscheinlich. Denn das wasseraufnehmende Zellsystem hat ja bei seiner Ausdehnung durch Ueberwindung des Luftdruckes äussere Arbeit zu leisten, die gleich dem Product aus diesem Drucke und der Volumzunahme ist; somit steigt und fällt diese zu leistende Arbeit proportional dem Werthe des Druckes. — Wird die Unabhängigkeit der Schwellung vom Luftdruck zugegeben, so könnte man sich zunächst vorstellen, dass, wenn dem contrahirten Zellsystem Wasser von aussen zugeführt wird, die Cohäsion des Binnenwassers der Zellen sich gewissermassen durch die Membran hindurch, vermittels feinster Wasserfäden innerhalb der Wandungen, auf das Aussenwasser fortsetzte, und dass dieses somit von den elastischen verdickten Membranpartien bei ihrer Entspannung unmittelbar durch die Membran hindurch in das Zellinnere hineingezogen würde. Diese Vorstellung lässt aber einen wichtigen Punkt ausser Acht, nämlich den Dehnungszustand, in dem sich das Füllwasser der contrahirten Zellen unbedingt befinden muss. Derselbe Zug, den das Zellwasser auf die Membran ausübt, und der sicherlich mehrere Atmosphären beträgt, wird ja auch umgekehrt seitens der Membran auf das Wasser in der Zelle ausgeübt. Somit ist der Binnendruck des Wassers innerhalb der fraglichen Gewebe und des Aussenwassers nicht derselbe, und das Problem der elastischen Schwellung weist demnach auf einen Vergleich mit den Erscheinungen der Capillarität und des osmotischen Druckes hin. Bei der landläufigen Erklärung der Capillaritätserscheinungen wird ja der Hub des Wassers in einer Haarröhre ebenfalls auf die Differenz des Binnendrucks (der „Oberflächenspannung“ bei einer ebenen Fläche) unterhalb einer horizontalen und einer con-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

caven Flüssigkeitsoberfläche zurückgeführt. Hinsichtlich des osmotischen Druckes giebt es meines Wissens noch keine ganz zufriedenstellende Theorie. Es scheint mir aber unvermeidlich, dass man auch hier den Binnendruck des reinen Wassers heranzieht, um die ausserordentlichen Höhen zu erklären, zu denen man das Quecksilber durch die Osmose emportreiben kann. Wenn man z. B. den osmotischen Druck einer halbgesättigten Ammoniaklösung bei 0° auf etwa 670 Atmosphären beziffert[1]), so ist dies meines Erachtens so zu deuten, dass der in das Flüssigkeitsinnere gerichtete Binnendruck der Lösung durch den nach aussen gerichteten Druck der gelösten Molecüle in demselben Maasse vermindert wird, als wenn diese Molecüle in Gasform gegen das Oberflächenhäutchen des Lösungswassers anprallten. Dass dabei das Gefäss, in dem sich die Lösung befindet, nicht zertrümmert wird, liegt eben daran, dass der Binnendruck des Wassers den Betrag von 670 Atmosphären weit übersteigt. Die treibende Kraft bei den osmotischen Erscheinungen dürfte demnach einfach der Ueberschuss des Binnendruckes im reinen Wasser gegenüber dem der Lösung sein. Demgemäss möchte ich hinsichtlich der elastischen Schwellung die Hypothese aufstellen:

Bei den contrahirten, aber noch wassergefüllten Zellen der Antheren und des Farn- und Schachtelhalmsporangiums ist die Kraft, welche bei Zufuhr von Wasser dieses in die Zellen hineintreibt, ihre Wandfalten ausglättet und sie etwa auf das frühere Maass anschwellen lässt, der Ueberschuss des Binnendrucks, der im Füllwasser der Zellen herrscht, über den des Aussenwassers. Die Schwellung dauert so lange, bis diese Differenz dem Filtrationswiderstande der Membran gleich geworden ist.

Ich möchte diese Auffassung dem Urtheil der botanischen Fachgenossen und der Physiker unterbreiten und mich zunächst naheliegender Ausblicke in andere mechanische Gebiete, wie z. B. die Regulirung der Wasserversorgung lebender Gewebe, den Hub von Flüssigkeiten bei ASKENASY's Versuch und bei STRASBURGER's bekannten Ergebnissen mit todten injicirten Pflanzen, enthalten. Nur das eine möchte ich noch hervorheben, dass die fragliche Arbeitsleistung der Molecularkräfte in Flüssigkeiten nicht an eine Contraction der Wandungen gebunden ist, die das gedehnte Wasser umschliessen. Die Saugwirkung des gedehnten Wassers wird ja durch eine Cohäsionscontraction der Wandung nicht erhöht, sondern zugleich mit dem Dehnungsgrade des Wassers herabgesetzt. Weil die Wandung von Blattepidermen und wasserspeichernden Geweben[2]) nachgiebig ge-

1) Vgl. z. B. LÜPKE, Grundzüge der Elektrochemie, 1896, S. 73.

2) Vergl. z. B. GIESENHAGEN, Anpassungs-Erscheinungen epiphytischer Farne SCHWENDENER-Festschrift S. 7 ff.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

baut ist, sind diese Zellsysteme im Stande, leicht Wasser an die assimilirenden Zellen abzugeben. Andererseits vermögen sie in Folge der immerhin vorhandenen Aussteifung der Membran bei reichlicher Wasserzufuhr dieses wieder aufzunehmen. Die Höhe der hiermit möglicher Weise durch die Transpiration und den Wasserverbrauch der assimilirenden Zellen zur Verfügung gestellten Druckkräfte beschränkt sich nicht auf wenige Atmosphären. Der Compressionscoefficient des Wassers ist ja sehr gering. Er soll sich auf etwa 50 Millionstel seines Volums (pro Atmosphäre) belaufen. Nehmen wir also an, die Wandungen eines geschlossenen, wassergefüllten Behälters wären vollständig starr, sie gestatteten aber eine Wasserentnahme, so würde die Zugkraft seines flüssigen Inhalts bereits auf eine Atmosphäre steigen, wenn nur 50 Millionstel desselben verdunstet oder in anderer Weise entzogen wären. Ob und inwieweit solche Saugwirkungen in lebenden Pflanzen vorkommen, das zu beurtheilen, muss ich Sachkundigeren überlassen. Jedenfalls dürfte aber das auf den ersten Blick so unwichtig erscheinende Problem des Antherenmechanismus von anderen physikalischen und physiologischen Problemen nicht so weit abseits liegen, dass es nicht einer exacteren Durchforschung würdig wäre, als ich sie bei beschränkter Musse hier zu liefern vermocht habe.

---

14. P. Magnus: Ueber die Gattung Uropyxis Schroet.

Mit zwei Holzschnitten.

Eingegangen am 30. März 1899.

J. Schroeter hatte 1875 im 14. Jahrgange der Hedwigia S. 165 auf *Puccinia Amorphae* Curt. die Gattung *Uropyxis* begründet und sie dadurch charakterisirt, dass die Teleutosporen zweizellig sind, von einer weiten, farblosen, nicht zerfliessenden Hülle umgeben werden und jede Zelle nahe der Scheidewand mit zwei gegenüberstehenden Keimporen versehen ist.

1884 gab W. Trelease in den „Transactions of the Wisconsin Academy of Sciences, Arts and Letters", Vol. VI (1881—1884) die „Preliminary List of the parasitic Fungi of Wisconsin" heraus, in der Farlow (S. 25 des Abdr.) kurz die *Puccinia Petalostemonis* Farl. beschrieben und ihre nahe Verwandtschaft zu *Puccinia Amorphae* Curt. hervorhob. Diese Art stellte G. B. de Toni 1888 in P. A. Saccardo

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft

Jahr/Year: 1899

Band/Volume: 17

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

Artikel/Article: Ueber elastische Schwellung (Entfaltung) von Geweben und die muthmassliche Saugwirkung gedehnten Wassers. 99-112