Versuche über die Luftdurchlässigkeit der Zellwände von Farn- und Selaginella-Sporangien, sowie von Moosblättern.

Von
C. Steinbrinck.

Hierzu Tafel V.

I. Einleitung.

Im Verlaufe fortgesetzter Untersuchungen über das „Schrumpfeln" von Pflanzenzellen habe ich bereits früher Gelegenheit gehabt, in Kürze über einige Versuche zu berichten, die sich auf die Luftdurchlässigkeit der Zellmembranen von Hollunder und Sonnenrosenmark, sowie von dem „fibrösen" Gewebe der Antherenfächer bezogen. [1])

Die Ergebnisse derselben standen mit Beobachtungsresultaten, die im Jahre 1889 von Wiesner und Molisch veröffentlicht sind,[2]) nicht im Einklang. Denn während die Cellulosehäute nach diesen beiden Forschern die Luft weder im lebenden noch im todten Zustande der Zellen, und weder trocken noch durchfeuchtet, filtriren oder diffundiren lassen sollen, gelangte ich zu dem Schlusse, dass solche Membranen in mehreren der erwähnten Fälle im Gegentheil in hohem Masse luftdurchlässig sein müssten. Ich stützte mich dabei vornehmlich auf Erfahrungen, die ich mit Hilfe der Luftpumpe gewonnen hatte.

Auf Grund einer anderen Methode war Schrodt hinsichtlich der Annuluszellen von Farnsporangien schon früher zu einem entsprechenden Resultate gekommen.[3]) Diesen Zellen sind nämlich ebenfalls luftundurchlässige Membranen zugesprochen worden, weil sich, wenn sie im ausgetrockneten Zustande mit Wasser in Berührung kommen, ihre Lumina auffällig rasch wieder mit Wasser füllen. Liegt ja doch zur Erklärung dieser Erscheinung nichts näher als die Annahme, dass dieselbe durch einen Ueberdruck der atmosphärischen Luft bewirkt werde und dass demgemäss die Blasen, die in Wasser innerhalb der Zelllumina sichtbar sind, in Wirklichkeit nichts anderes als leere oder doch sehr luftverdünnte Räume darstellen. Um diese Auffassung zu

---

1) Ber. d. deutsch. bot. Ges. 1900, XVIII, 275—285.

2) Unters. über d. Gasbewegung in der Pflanze. Ber. d. Wiener Acad. d. Wiss. 1889, Bd. 98, Abt. I pag. 670 ff.

3) Ber. d. deutsch. bot. Ges. 1898, XVI, pag. 322—330.

prüfen, hat Schrodt auf die Farnannuli, während er sie unter dem Mikroskop vor Augen hatte, concentrirte Schwefelsäure einwirken lassen. Seine Entscheidung machte er nun davon abhängig, ob jene Blasen, wenn die umhüllende Membran von der starken Säure durchbrochen wird, sehr rasch schwinden oder längere Zeit ausdauern und event. aus den Lumina ausgestossen werden. Seine Beobachtungen ergaben das Letztere und sprachen somit gegen die Annahme luftleerer Zellräume.

Es ist aber nicht zu verwundern, dass diese Schlussfolgerung z. Th. mit Misstrauen aufgenommen worden ist. Im Hinblick auf die beschränkte Löslichkeit der Luft in Wasser darf man ja mit Recht Aufklärung darüber wünschen, durch welche Umstände denn in diesem Falle die auffallend rasche Absorption der Binnenluft der Zellen bewerkstelligt werden sollte. Ueberdies lassen sich ferner die Bedenken geltend machen, ob die persistenten Blasen des Schrodt'schen Versuches nicht vielleicht bei der Zerstörung der Zellwandungen aus ihrem Inneren auf physikalischem Wege entbunden[1]) oder ob sie nicht, statt aus Luft, aus einem gasförmigen chemischen Zersetzungsprodukt der organischen Substanz mit der Schwefelsäure gebildet sein könnten.

Diesen Erwägungen habe ich besondere Beachtung gewidmet, als ich auf Veranlassung des Herausgebers dieser Zeitschrift zunächst auch die Klappen der Selaginella-Sporangien auf den Luftgehalt ihrer Zellen zu prüfen unternahm. Diese erwecken nämlich in ausgetrocknetem Zustande durch die rasche Wasserfüllung ihrer Lumina ebenfalls den Verdacht der Luftleere. Trotzdem konnte ich bei aller Sorgfalt der Kritik bei ihnen auf Grund der Schwefelsäureprobe zu keinem anderen Resultate gelangen als einem solchen, das Schrodt's Ergebnissen an Farnannuli entsprach.

Als ich diesen Schluss jedoch mit Hilfe von Luftpumpenversuchen zu bekräftigen suchte, führten dieselben nicht zu einem unzweideutigen Ergebniss. Immerhin schienen diese Versuche anderseits geeignet, die Auffassung in Zweifel zu stellen, dass die rasche Blasenverdrängung

---

1) Verkorkte Membranen nehmen in ihrer Substanz nach Böhm (vgl. Wiesner und Molisch l. c. pag. 695), verholzte nach Claussen (vgl. Flora 1901 Bd. 88 Heft III pag. 20, 21 u. a. des Sonderdruckes) beträchtliche Quanta von Luft oder Gasen auf. Auch bei Gallerten hält Quincke die Absorption von erheblichen Luftmengen durch ihre festen oder flüssigen Schaumwände für wahrscheinlich. Diese Luft soll schon bei Wasserzusatz in Blasen austreten können. (Sitzgsber. d. Berliner Akad. d. Wiss. 1901 Bd. 38 pag. 865.)

bei den Farnannuli und Selaginella-Sporangien auf dem Ueberdruck der äusseren Luft beruhe. Sie deuteten ausserdem darauf hin, dass unsere Kenntnisse über diese mikrophysikalischen Verhältnisse noch nicht hinreichend geklärt sind, und dass uns vielleicht auf diesem Gebiete noch ähnliche Ueberraschungen bevorstehen, wie sie uns von Brown und Escombe[1]) hinsichtlich der Diffusion von Gasen durch poröse Scheidewände zu Theil geworden sind.

Ein geeignetes Object zum weiteren Studium dieser Fragen schienen mir nun die Zellen von Moosblättern zu bieten. Denn zunächst sind sie als Objecte bekannt, bei denen die Wasserfüllung der Lumina oft noch ungemein viel rascher vor sich geht als in den vorher erwähnten Fällen; ausserdem empfehlen sich die Blätter einiger Moose infolge ihrer bedeutenden Grösse weit mehr als die genannten Sporangien zur Controle der oben angeführten Prüfungsmethoden durch das ältere von Wiesner und Molisch eingeschlagene Verfahren; endlich liegt bezüglich der Blätter eines Laubmooses, nämlich von Mnium punctatum, bereits eine scharf präcisirte Beobachtung über ihre Luftdurchlässigkeit seitens der beiden Wiener Forscher vor.

Der Weg, den Wiesner und Molisch eingeschlagen haben war folgender. Auf ein beiderseits offenes, gerades Glasrohr von einer Länge bis zu 1 m wurde an einem Ende das zu untersuchende Gewebe (beispielsweise ein Moosblatt) luftdicht aufgekittet. Darauf wurde das Rohr ganz oder theilweise mit Quecksilber gefüllt, nach Analogie des Torricelli'schen Versuches mit dem offenen Ende nach unten in ein grösseres mit Quecksilber gefülltes Gefäss getaucht und darin aufrecht aufgestellt. Es kam nun lediglich darauf an, festzustellen, ob das Quecksilber im Rohre seinen anfänglich eingenommenen Stand lange Zeit behauptete (natürlich abgesehen von Barometer- oder Temperaturschwankungen), oder ob es bald herabsank.

Die Wiener Forscher haben nun berichtet, dass das Quecksilber in einem Rohre, das mit einem Blatte von Mnium punctatum verschlossen war, 30 Tage lang seinen Anfangsstand von 25 cm über dem äusseren Quecksilberspiegel behauptet habe. Diese Erfahrung hat ihnen genügt, um daraus die Luftundurchlässigkeit der Membranen des Mnium-Blattes abzuleiten. Nachdem ich den Versuchsbericht von Wiesner und Molisch zunächst innerhalb der angegebenen Grenze bestätigt gefunden hatte, gab ich mich anfangs der Hoffnung hin, dass sich die Mnium-Blätter bei höheren Druckdifferenzen als permeabel

1) Proceed. of the Royal Society. 1900, Vol. 57 pag. 124 ff. Vgl. das Referat in der Naturw. Rundschau 1901, XVI, pag. 81.

erweisen würden. Denn auch von den pflanzlichen Gefässwänden gibt von Höhnel an, dass durch sie erst bei einem Ueberdruck von 60—70 cm Quecksilber ein nennenswerther Durchgang von Luft stattfinde.[1]) Ich steigerte daher die Druckdifferenz bei Mnium-Blättern bis zu 2—3 Atmosphären, musste jedoch constatiren, dass die Blätter auch bei dieser Druckhöhe sowohl im trocknen als im imbibirten Zustand für Luft impermeabel sind. Anderseits deutete jedoch die Prüfung derselben mit Schwefelsäure oder mit Wasser bestimmt auf Durchlässigkeit ihrer Membran hin.

Diese sich anscheinend widersprechenden Erfahrungen haben mich bewogen, die berührten Fragen während mehrerer Monate durch oft wiederholte und mannigfach variirte Versuche aufs eifrigste zu verfolgen. Wenn möglich, habe ich mich dabei aller dreier erwähnten Methoden, die kurz als die Luftpumpen-, Schwefelsäure- und Torricelli-Probe charakterisirt werden mögen, neben einander bedient. Da ich aber zur Fortsetzung der Versuche zur Zeit nicht in der Lage bin, so soll über ihr bisheriges Ergebniss im Folgenden Bericht erstattet werden.

Eine allgemeine Bemerkung möchte ich jedoch vorausschicken, die sich auf die Beurtheilung des Werthes der verschiedenen Versuchsmethoden bezieht. Manche Leser dürften nämlich geneigt sein, nach dem zweifelfreien Ausfall der oben erwähnten Torricelli-Probe an Mnium-Blättern wenigstens für diese Organe eine weitere Prüfung auf anderem Wege für überflüssig zu halten. Denn wenn die eine einzige Zelllage dieser Blätter selbst bei monatelangem Ueberdruck von der Höhe einer Atmosphäre oder gar bei einer Druckdifferenz von mehreren Atmosphären keine Spur von Luft in die Torricelli'sche Leere eindringen lässt, scheint doch die Undurchdringlichkeit ihrer Membranen über allem Zweifel erhaben. Dem gegenüber möchte ich betonen, dass diese Folgerung trotzdem, vom rein logischen Standpunkt betrachtet, einen Trugschluss birgt und durchaus zu weitgehend ist. Nachgewiesen ist nur, dass jene Mnium-Blätter als Ganzes einen luftdichten Abschluss gewähren; damit ist aber nicht ausgeschlossen, dass sich nicht einzelne Bezirke jeder Zellhaut abweichend verhalten. Man erkennt dies leicht, wenn man sich die Möglichkeit vorstellt, dass etwa nur die morphologische Unterseite, also die eine Flucht der tangentialen Aussenwände des Blattes, impermeabel, die Oberseite dagegen, d. h. die andere Tangentialwand

1) Pringsh. Jahrb. 1879—1881, XII, pag. 47—131.

jeder Blattzelle, für Luft leicht durchlässig sei. Die Torricelli-Probe wird bei solcher Einrichtung nicht anders ausfallen können als vorher angegeben ist. Nichtsdestoweniger wird die Zellmembran, wenn das Lumen wasserleer geworden ist, das Eindringen von Luft in dasselbe nicht zu verhindern vermögen. Ueber den wirklichen Luftgehalt der trockenen Zellen gibt somit die Torricelli-Probe allein gar keine Auskunft. Hierzu ist die Untersuchung mit Schwefelsäure oder mit der Luftpumpe in ganz anderem Maasse geeignet, während diese Mittel hinwiederum über die Durchlässigkeit des Gesammtcomplexes nichts Bestimmtes aussagen. Somit müssen die verschiedenen Methoden, sich gegenseitig ergänzend, neben einander zur Anwendung kommen.

II. Einzelheiten über die verschiedenen Untersuchungsmethoden.

1. Ueber die Stichhaltigkeit der Schwefelsäureprobe.

In der Einleitung (pag. 103) ist gegen die Beurtheilung des Luftgehaltes von Zellräumen mittelst Schwefelsäure das Bedenken geltend gemacht worden, ob nicht die durch dieselbe innerhalb der Zelllumina nachweisbaren ausdauernden Blasen, deren Grösse einen Maassstab für den ursprünglichen Luftgehalt der trockenen Zellen abgeben soll, Kunstprodukte seien, die sich erst nachträglich durch die Einwirkung der Säure in ihren Lumina angesammelt haben. Ich habe diesen Einwand theils an unverletzten Zellen, theils an solchen, die durch Schnitte geöffnet waren, geprüft.

a) Untersuchung von Schnitten. Hat man trockene Schnitte mit theils geöffneten, theils geschlossenen Zellen neben einander, so müssen, wenn die Schwefelsäureprobe stichhaltig ist, nur in den letzteren ausdauernde Blasen zum Vorscheine kommen; in den offenen dürfen sich dagegen auch bei längerer Säurewirkung keine solchen entwickeln. Die Unterscheidung der geschlossenen und geöffneten Zellen ist an genügend dünnen Schnitten sehr leicht, da die letzteren sich bei dem Zutritt von Wasser, Alkohol oder der Säure selbst sofort mit der Flüssigkeit gefüllt zeigen. Ich habe nun Schnitte von Antheren (Tulipa, Digitalis, Magnolia, Liriodendron), von Mnium-Blättern, sowie von Polypodium-, Scolopendrium- und beiderlei Selaginella-Sporangien in dieser Weise oft geprüft, ohne eine Blasenentwickelung in den geöffneten Zellen wahrzunehmen. So lag mir z. B. einmal ein Scolopendrium-Annulus vor, der durch das Messer zum grössten Theil in drei Längsstreifen zerlegt war, die aber an einem Ende zusammen-

hingen, da die Schnitte dort einige Annuluszellen nicht verletzt hatten. Aus jeder dieser letzteren trat bei der Einwirkung der Schwefelsäure eine Blase heraus; dahingegen war in den angeschnittenen Zellen dieses Annulus keine Spur von Bläschen zu beobachten, ebenso wenig wie an anderen Annulusstücken, deren Zellen sämmtlich beiderseits geöffnet waren. Waren dagegen die Annuli durch einen Längsschnitt nur am äussersten Rande geöffnet, so musste die Luft aus ihren engen Lumina natürlich erst ausschlüpfen. Dies geschah aber sehr rasch nach dem Säurezusatz; ein weiteres Aus- oder Auftreten von Blasen fand nicht statt.

b) Prüfung unversehrter Gewebe. Zu demselben negativen Ergebniss hinsichtlich der Blasenentwickelung gelangte ich auch, wenn dafür Sorge getragen wurde, dass die Zelllumina nach ihrer Entleerung von Flüssigkeit, bis sie zur Untersuchung kamen, vor Luftzutritt möglichst geschützt waren. Das erreichte ich auf mehrfachem Wege.

α) Erstlich wurden die Sporangien und Moosblätter in völlig flüssigkeits- (wasser- oder alkohol-) gefülltem Zustande ihrer Lumina an die Luftleere angeschlossen, darin ausgetrocknet und nun sofort nach dem Uebertragen aus dem Vacuum in die freie Luft mit Schwefelsäure geprüft.

β) Die Annuluszellen der Farne und die grösseren Zellen in den Klappen der Makro- und Mikrosporangien von Selaginella werden beim Wasserverlust durch den Cohäsionszug des schwindenden Zellsaftes oder Füllwassers stark deformirt. Durch Einwärtsfalten der dünnen Aussenhaut wird dabei ihr Lumen stark eingeengt. Vor dem gänzlichen Verdunsten des Flüssigkeitsrestes springen aber die Zellwandungen elastisch zurück, so dass sich der Zellraum momentan fast bis zur ursprünglichen Grösse wieder erweitert. Wartet man nun an Sporangien, die unter dem Mikroskop austrocknen, diesen Moment ab, so hat man allen Grund zu der Voraussetzung, dass die Lumina, falls die Wandungen nicht sehr luftdurchlässig sind, zu dieser Zeit nur geringe Luftquanta enthalten können, und dass daher bei sofortigem Schwefelsäurezusatz in diesem Falle wie in Fall α) nur kleine Bläschen in den Zellräumen zum Vorscheine kommen bezw. bestehen bleiben werden.

Diese Erwartung fand ich in beiden Fällen durchaus bestätigt. Sehr überzeugend war namentlich der Contrast im Verhalten der frisch entleerten und der seit längerer Zeit ausgetrockneten Zellen, wenn beiderlei Objecte unter demselben Deckglase zu gleicher Zeit

mit Schwefelsäure geprüft wurden. Bei dem ersten Zutritt der Säure war das Aussehen beider Probestücke allerdings dasselbe: bei beiden enthielten ihre Zellen Blasen, die anfänglich den ganzen Hohlraum erfüllten. In den frisch entleerten Lumina zogen sich aber diese Blasen bald zu sehr kleinen Kugeln zusammen oder schwanden rasch gänzlich, während in dem Gegenstück in jeder Zelle eine grössere Kugelblase verblieb, wenn diese nicht, wie das oft geschah, ausschlüpfte. — Man vergleiche die Figg. 9 und 11 Taf. V von frisch geschnellten Scolopendrium-Annuli mit den Figg. 10 und 12, die sich auf längst ausgetrocknete Annuli von Scolopendrium beziehen. Die ersteren waren einige Minuten nach dem Säurezusatz ganz blasenfrei und blieben auch so; bei den letzteren sind 10 Minuten nach dem Zutritt der Säure und noch lange nachher die Blasen theils innerhalb der Zellen, theils neben ihnen noch in ziemlicher Grösse vorhanden. Einen ähnlichen, wenn auch minder scharfen Gegensatz zeigen die Figg. 15 und 16, die Gewebsstücke aus Mikrosporangien von Selaginella 15 Minuten nach dem Säurezusatz darstellen.[1])

γ) Bei Moosblättern ist ein besonderes Verfahren, um sie möglichst luftleer zu erhalten, gewöhnlich gar nicht nöthig, da ihre Zellen nach der Deformation durch den Cohäsionszug der schwindenden Flüssigkeit nicht zurückschnellen, sondern unter gewöhnlichen Umständen im trockenen Zustande stark zerknittert bleiben. (Siehe Fig. 7.) Dabei sind die Mittelpartien der Tangential-(Aussen-)wände oft eng aneinander gepresst und auch die Radialwände manchmal derart verbogen, dass selbst an ihren Rändern nur beschränkte Räume frei bleiben, die sich von aussen mit Luft füllen könnten.[2]) Bei Mnium cuspidatum durchtränken sich die Lumina solcher Zellen, wenn sie auch jahrelang trocken gelegen haben, bei der Ueberfluthung mit Wasser entweder augenblicklich oder doch binnen wenigen Secunden mit Wasser. Bei den grösseren Zellen von Mnium punctatum erscheint in der Flächenansicht des Blattes bei der Ueberfluthung der grösste Theil des Lumens sofort ganz klar, nur die Conturen der Radialwände zeigen sich verwischt und trübe. Bei näherer Beobachtung bemerkt man an ihnen dunkle Ränder, die sich infolge der elastischen Ausdehnung der Zellwände vergrössern und bald zu bohnen- oder wurstförmigen Blasen umformen, die den Ecken der Zellen

1) Näheres s. pag. 119 ff.

2) Diese Formveränderungen sind unabhängig davon, ob der Protoplast bei der Deformation der Zellwand angeschmiegt oder ob er bei Wasserzusatz, hantel- oder wurstförmig contrahirt, inmitten des Zelllumens zurückbleibt.

angelagert bleiben (siehe Fig. 8), bis sie je nach ihrer Ausdehnung in längerer oder kürzerer Zeit schwinden.[1])

Auch gegenüber dem Alkohol und der Schwefelsäure verhalten sich die trockenen Blätter von Mnium punctatum ähnlich; jedoch lösen sich die unregelmässigen Blasen in der Säure bald von der Wand ab und vereinigen sich entweder zu einer Kugelblase oder sie bleiben als mehrere kleine Kugelbläschen bestehen (s. Fig. 13). Hat man diese Verhältnisse nicht genügend studirt, so übersieht man bei Beginn der Säureeinwirkung oft die dunklen Ränder der Zelllumina. Man unterliegt daher leicht der Täuschung, als ob die Zellräume nach dem Säurezutritt zunächst ganz klar seien und die erwähnten Bläschen erst nachträglich im zerfliessenden Schleim der Membran entständen und daraus emporschössen. Erst häufig wiederholte Beobachtungen weisen hier den richtigen Weg. Dass es auch bei den Moosblättern an lehrreichen Contrasten nicht fehlt, wird durch den Vergleich der eben citirten Fig. 13 mit Fig. 14 dargethan, die nichtcontrahirte luft-erfüllte Zellen nach der Behandlung mit Schwefelsäure zur Anschauung bringt. Von der Präparationsweise solcher Gewebe wird später die Rede sein (vgl. pag. 121 ff.). Hier genüge die Bemerkung, dass der grössere Kreis in jeder Zelle eine grosse persistente Kugelblase darstellt, die nach Ausweis der Fig. 13 kein Kunstprodukt sein kann.

δ) Die Luftleere der Zelllumina in Sporangien und Moosblättern kann in unmittelbarem Zusammenhang mit der Schwefelsäureprobe auch durch die Einwirkung der Säure allein erreicht werden, wenn die Zellen vorher ganz wassererfüllt sind. Da die Membranen namentlich bei den Farn- und Selaginella-Sporangien offenbar das Wasser weit leichter durchlassen als die starke Säure, so entzieht die letztere den Zellräumen jener Sporangien durchweg, denen der Mnium-Blätter wenigstens häufig, sehr rasch ihr Füllwasser. Hat man solche wasserdurchtränkte Gewebe unter dem Mikroskop liegen und setzt die Säure zu, so sieht man, wie sie sich contrahiren und ihre Zellen ebenso schrumpfeln, wie wenn ihnen das Wasser durch Verdunstung entzogen würde. So faltet sich bei den Farnannuli die Aussenwand der Zelle ein unter Auswärtskrümmung des ganzen Ringes; die Klappen der Selaginella strecken sich flach, in der Flächenansicht sind ihre Radialwände stellenweise stark verbogen; das Gewebe der Moosblätter verkürzt sich ebenfalls. Nach sehr kurzer Zeit wird aber die Contraction zum Theil wieder aufgehoben, da die Flüssigkeit der Zellräume in ähnlicher

1) Vgl. G. Schröder, Ueber die Austrocknungsfähigkeit der Pflanzen. Inaug.-Diss., Leipzig 1886, pag. 43 und 44.

Weise wie beim Austrocknen an der Luft zerreisst, sich aus dem Lumen zurückzieht und in demselben einen dunkelumrandeten Blasenraum hinterlässt. Kamerling hat schon früher solche Erscheinungen, die vielfach auch durch Alkohol, Glycerin und andere wasserentziehende Mittel hervorgerufen werden können, richtig erklärt und namentlich darauf hingewiesen, dass die so entstehenden Blasenräume annähernd luftfrei sein müssten.[1])

Solche Blasenräume verschwinden nun in der Schwefelsäure bei fortgesetzter Einwirkung derselben bald nach ihrem Entstehen entweder spurlos oder bis auf ein winziges Restbläschen, dessen Existenz sich vermuthlich dadurch erklärt, dass die im Wasser der Zelllumina gelöst gewesene und bei dem Riss desselben frei gewordene Luft nicht so schnell durch die eingedrungene Säure wieder absorbirt wird. Von einer nachträglichen Entstehung von Blasen auf dem Wege chemischer Zersetzung oder physikalischer Entbindung aus der Membran ist also auch bei diesem Verfahren niemals etwas zu bemerken.

Dagegen lässt sich der scharfe Gegensatz im Verhalten der luftleeren und lufterfüllten Lumina auch nach dieser Methode recht anschaulich demonstriren. Hat man Mnium-Blätter zur Verfügung, die durch besondere Umstände wenig geschrumpfelt sind und bei denen die Blasenverdrängung aus den Zellen auffallend lange Zeit (z. B. Stunden) in Anspruch nimmt, so bemerkt man an ihnen, wenn sie in Wasser längere Zeit gelegen haben, oft grössere Zellgruppen, die sich schon wieder ganz mit Wasser gefüllt haben, unmittelbar neben solchen, die noch grosse Blasen enthalten. Bringt man derartige Objecte so unter das Mikroskop, dass die Grenzlinie der beiderlei Gruppen das Gesichtsfeld ungefähr halbirt, und lässt nach möglichster Entfernung des benetzenden Wassers starke Schwefelsäure herantreten, so kann man oft wahrnehmen, wie die wassererfüllten Zellen in der geschilderten Weise reissen und nun zunächst das ganze Gesichtsfeld von gleichmässig dunkel umrandeten Zellen eingenommen ist. Gar bald tritt der Contrast aber wieder hervor, indem die Zellen der einen Hälfte des Gesichtsfelds rasch klar und durchsichtig werden, während sich in der anderen Hälfte die Blasen zu grossen, ausdauernden, dunkeln Kugeln runden, die bei Druck auseinander weichen, ohne sich zu verkleinern.

c) Bemerkung über die Einwirkung von Schwefelsäure auf alkoholgefüllte Gewebe. Vielleicht ist eine Beobachtung noch besonders geeignet, die oben unter α) bis δ) angeführten

1) Vgl. Bot. Centralbl. 1897, LXXII, pag. 53.

Proben zu gunsten der Stichhaltigkeit des Schwefelsäureverfahrens von einer anderen Seite zu beleuchten. Ich erwähnte vorher, dass Schwefelsäure nicht immer im Stande ist, in wassergefüllten Zellen der Moosblätter den Riss des Füllwassers und damit das Auftreten von dunklen Räumen in der Lumina hervorzurufen. Sicherer gelingt dies, wenn man zuerst absoluten Alkohol und dann Schwefelsäure anwendet. Wie schon gesagt, bewirkt der Alkohol für sich allein manchmal schon z. Th. Reissen der Zellflüssigkeit; folgt ihm nun noch die Säure, so erscheint meist das ganze Gewebe bald vollständig schwarz von Blasenräumen. Da diese Objekte von der Säure völlig umhüllt werden, so kann auch diesmal in jene Räume schwerlich Luft von aussen eindringen. Trotzdem schwinden die Blasen unter solchen Umständen durchaus nicht, sie bleiben nämlich ebenfalls wie lufterfüllte Räume als grosse Kugeln bestehen, die zum Theil durch den Druck der gequollenen Membran ausgestossen werden, z. Th. in den Lumina liegen bleiben, aber durch Druck auf das Deckglas herausgetrieben werden können. Aller Wahrscheinlichkeit nach entstehen diese Blasen erst durch die Einwirkung der Schwefelsäure auf den Alkohol, vielleicht unter Contactwirkung der Membran. Vermuthlich ist ihr Inhalt gasförmiges Aethylen. Jedenfalls hat man, um einwandfreie Resultate mit der Schwefelsäureprobe zu erhalten, das Vorhandensein von Alkohol zu vermeiden.

2. Ueber die Versuchsanordnung bei der Torricelli-Probe.

Zur Ergänzung der Versuche von Wiesner und Molisch benutzte ich einen Meter lange, gerade Glasröhren von 3—6 mm lichter Weite und von der Wandstärke, wie sie zur Herstellung von Barometern oder zum Torricelli'schen Experiment im Schulunterricht gebraucht werden. Oder ich bediente mich, wenn es sich um die Prüfung kleiner Objecte handelte, der Büretten mit dünner Ausflussspitze und eingeschliffenem Glashahn, wie sie der Chemiker beim Titriren anwendet. Um auch so winzige Gewebe, wie die Klappen der Selaginella-Sporangien erproben zu können, versuchte ich sie einige Male als Abschluss feinstkalibriger Thermometerröhren zu benutzen. Da jedoch die Dichtigkeit ihres Lackverschlusses nicht genügend controlirt werden konnte, so habe ich diese Versuche vorläufig aufgegeben und mich lediglich auf die Prüfung der Blätter von Mnium cuspidatum und punctatum und auf die Verwendung weiterer Röhren beschränkt. Jedes Rohr wurde zunächst an dem einen Ende mit einem Gipspfropf versehen, der dem Blatt als Widerlage dienen sollte,

um es vor dem Zerreissen zu schützen. Zur Befestigung des Blattes diente nicht geschmolzener, sondern in Spiritus gelöster Siegellack. Dieser wurde zuerst als dünner Ring auf die Wand des Rohres und die äussere Partie des Gipspfropfes aufgetragen. Um aber zu verhindern, dass der Lack zwischen Gips und Pflanzengewebe eindrang, wurde das Blatt oder Blattstück auf diesen Ring erst aufgedrückt, nachdem der Lack desselben einigermassen consistent geworden war. Die weitere Dichtung geschah nach einiger Zeit durch wiederholtes Auftragen von Lack, bis sich der Verschluss beim Einsenken des offenen Rohrendes in ein tiefes Gefäss mit Quecksilber als dicht erwies. In derselben Weise war bei jedem Rohre vor dem Anbringen des Lackverschlusses die leichte Durchlässigkeit des Gipspfropfes erprobt worden. Anderseits wurde nach Beendigung jedes Versuches durch Abtragen des Lackverschlusses mit dem Messer und durch Abheben des Blattes von dem Rohr festgestellt, dass der dichte Abschluss nicht etwa von Lack herrührte, der die Oberfläche des Gipspfropfes oder die Unterseite des Blattes überzogen hätte. — Der Gipspfropf haftete fest genug an der Glaswand, um nicht allein das Eingiessen des Quecksilbers in das ungefähr vertical gehaltene Rohr, sondern auch, wenn Luftblasen im Lumen des Rohres haften blieben, ein wiederholtes Schütteln und Stossen des Quecksilbers zu gestatten, und damit die Blasen nach dem offenen Ende zu treiben. Die Anwesenheit von Luft in den Poren des Gipses verhinderte es aber natürlich, dass sich die Quecksilbersäule beim Einbringen des offenen Rohrendes in Quecksilber auf den vollen Barometerstand einstellte. Die höchste Höhe, die ich bei mehreren Versuchen erreichte, betrug etwa 72 cm. Dieses Niveau wurde aber etwa sechs Wochen lang behauptet.[1]) Um die Moosblätter hiernach noch stärkeren Druckdifferenzen auszusetzen, wurde bei sonst unveränderter Versuchsanordnung das obere Ende des Glasrohres durch einen Druckschlauch mit einer Sauerstoffbombe oder unter Einschaltung einer Wulf'schen Flasche mit einer Wasserleitung von drei Atmosphären Druck luftdicht verbunden. Selbst als so der Druck, der von oben auf das Moosblatt wirkte, auf etwa drei Atmosphären gesteigert war, wich das Quecksilberniveau im Versuchsrohr während einer Versuchsdauer von über einer Stunde nicht vom Flecke.

Um ferner dem Einwand zu begegnen, der durch die Moosblätter bewirkte luftdichte Abschluss rühre nicht von der Membran, sondern

1) Der Stand des Quecksilbers wäre ohne Zweifel für eine erheblich längere Zeit unverändert geblieben, wenn ich den Versuch nicht abgebrochen hätte.

von dem lebenden Protoplasten her, wurden zu den Versuchen nicht frische Blätter, sondern nur solche verwandt, die vor 3—5 Jahren gesammelt und zum Teil tage- oder wochenlang in Alkohol absolutus eingelegt gewesen waren. Bei mehreren Versuchen wurden ausserdem besonders ausgesuchte Blätter von Mnium punctatum und cuspidatum verwerthet, die mir bei Gelegenheit anderer Beobachtungen durch die ausserordentliche Langsamkeit aufgefallen waren, mit der sich ihre Zelllumina mit Wasser füllten. Hieraus und aus der ungemeinen Grösse der Blasen, die an Probestückchen von ihnen in ihren Zellen bei der Schwefelsäureprobe auftraten, musste ich schliessen, dass ihre Lumina grosse Mengen von Luft enthielten, die durch die Membran eingedrungen waren. Es war also besonders interessant, zu erfahren, ob diese Blätter bei der Torricelli-Probe trotzdem luftdicht schlössen. Das eine dieser Blätter gehörte sogar zu denen, die auf einen Ueberdruck von mehreren Atmosphären geprüft wurden und demselben, wie gesagt, erfolgreich widerstanden.

Bisher ist nun bei der Besprechung dieses Versuchsmodus immer nur an das Verhalten der trockenen Membranen gedacht worden. Mit einer kleinen Abänderung der Einrichtung gelingt es aber leicht, auch die Durchlässigkeit der imbibirten Membranen zu erproben.

Benetzt man nämlich ein Moosblatt, das sich während langer Zeit als luftundurchdringlich erwiesen hat, während der Torricelli-Probe mit einem Wassertropfen, so kann man wahrnehmen, dass nach einiger Zeit die Quecksilbersäule im Rohre gefallen ist, nach der Verdunstung dieses Wassers aber (abgesehen von den Schwankungen des Luftdruckes und der Temperatur) ihren Stand wieder vollkommen behauptet. Dieser Versuch lässt sich mehrmals hintereinander mit demselben Resultate wiederholen. Das besagte Ergebniss gestattet a priori zwei verschiedene Auslegungen. Entweder ist durch die imbibirte Membran Luft eingedrungen oder die Substanz, die das Quecksilberniveau herabgedrückt hat, war Wasserdampf, der durch den porösen Gipspfropf eingetreten ist, nachdem das Wasser in flüssiger oder dampfförmiger Gestalt durch das Blatt hindurch an ihn gelangt ist. Eine Entscheidung hierüber ist bequem zu erlangen. Die Versuchsrohre wurden zu diesem Zweck von Neuem mit Quecksilber gefüllt und wie vorher aufgestellt, nachdem jedoch unter dem Gipspfropf in das Innere des Rohres Stückchen trockenen Chlorcalciums oder Bäuschchen von Filtrirpapier mit weissem Pulver von Phosphorpentoxyd eingebracht waren. Da diese Substanzen den Wasserdampf absorbiren, so musste, falls dieser die Ursache des Sinkens der Quecksilbersäule

gewesen war, dieses Fallen unterbleiben, wenn auch dieselben Blätter von neuem wiederholt mit Wasser benetzt wurden. In der That behauptete die Quecksilbersäule nunmehr ihren Stand. Zuletzt sah man über dem Quecksilber in den Chlorcalciumröhren eine klare Flüssigkeitsschicht mit concavem Meniscus. Somit gewähren auch die imbibirten Mniumblätter (selbst in todtem Zustande) einen luftdichten Abschluss.[1])

3. Die Apparate für die Luftpumpenprobe.

Der Apparat für die Luftpumpenversuche ist z. Th. bereits in einem Referat: „Ueber Auftreten und Wirkungen negativer Flüssigkeitsdrucke in Pflanzenzellen“ (Physikalische Zeitschr. 1901, pag. 493 bis 496) skizzirt worden. Er hat mir schon vom Jahre 1899 an zu der Mehrzahl der Experimente gedient, die meinen Mittheilungen in den Ber. der deutsch. bot. Ges. zu Grunde gelegen haben und sich auf das Verhalten von Geweben bei verringertem Luftdruck bezogen. Da er in einer botanischen Zeitschrift noch nicht beschrieben ist, so sei er hier ausführlicher besprochen.

Fig. 1 Taf. V stellt ein Paar durch Druckschlauch verbundener gläserner Doppelkugeln dar, die durch eine Quecksilberluftpumpe möglichst evacuirt wurden und beim Experimentiren stets in offener Verbindung mit dem Trockengefäss und der festen Pumpenkugel blieben. Dieser gesamte evacuirte Raum fasste 5,2 Liter.

a) Wir betrachten zuerst den Fall, wo ein Gewebe, das völlig flüssigkeitserfüllt war, im Vacuum[2]) ausgetrocknet werden sollte. Es wurde zu diesem Zwecke entweder in das flache Gefässchen gebracht, das sammt einem Theil seines Anschlussrohres in Fig. 2 von oben und in Fig. 3 von der schmalen Seite abgebildet ist, oder in das knieförmig gebogene Rohr, das mit dem ganzen eingeschliffenen Anschlussrohr in Fig. 4 dargestellt und ausserdem in verkleinertem Maassstabe in Fig. 1 rechts in Verbindung mit dem Kugelapparat zu sehen ist. Einschliesslich der Bohrung des eingeschliffenen Rohres bis zum Anschlusshahn fasste das erste Gefässchen 0,1 ccm, das zweite 1,7 ccm. Da sich diese geringen Luftmengen beim Anschluss der Gefässchen an den Kugelapparat in dem grossen, bis auf 1 mm oder

1) Nach diesen Ergebnissen gewinnt wohl auch die Ansicht Nawaschin's über die Ursache der Sporenausschleuderung bei den Torfmoosen (s. Flora 1897 Bd. 83 pag. 151 ff.) an Wahrscheinlichkeit.

2) Der Ausdruck „Vacuum“ möge der Kürze halber im Folgenden gestattet sein, obwohl der evacuirte Raum natürlich nie eine wirkliche Luftleere darstellt, sondern nur sehr luftverdünnt ist.

Bruchtheile desselben verdünnten Raum von 5200 ccm vertheilten, so konnte der Luftdruck, der auf den Probeobjecten innerhalb jener Gefässchen während der Austrocknung lastete, unbedenklich vernachlässigt werden. Nöthigenfalls wurde während des Austrocknens nachgepumpt. Bisweilen wurde auch das Gefässchen Fig. 2 und 3 ohne das eingeschliffene Rohr oder der ganze kleine Apparat der Fig. 4 durch einen kurzen Druckschlauch direct mit einer Wasserluftpumpe verbunden, die bei einem Wasserleitungsdruck von 3 Atmosphären den Druck in den bezeichneten, die Objecte enthaltenden Rezipienten binnen einigen Secunden auf wenige Millimeter herabdrückte. Um sicher zu gehen, dass die Austrocknung der Objecte in diesem Falle erst nach Erreichung des Luftdruckminimums einsetzte, waren die Pflanzengewebe in den Rezipienten mit einem reichlichen Quantum Flüssigkeit zusammen eingebracht worden, welche sie anfangs ganz einhüllte. Die Austrocknung konnte somit erst beginnen, nachdem diese Flüssigkeit (Wasser oder absoluter Alkohol) völlig verdampft war.

b) Kam es darauf an, die im „Vacuum“ ausgetrockneten Gewebe von neuem mit Wasser zu behandeln, ehe sie mit der freien Atmosphäre in Berührung gekommen waren, ehe also ihre luftleeren Zellräume Luft aus derselben aufnehmen konnten, so standen hierzu vier verschiedene Wege offen.

α) Waren die Rezipienten an die Wasserluftpumpe angeschlossen gewesen, so wurde nach völliger Austrocknung der Probestücke einfach der Wasserleitungshahn geschlossen, während das Abflussrohr der Pumpe in Wasser tauchte. Selbstverständlich trieb nun der atmosphärische Luftdruck das Wasser augenblicklich durch den Hohlkörper der Wasserluftpumpe in den Rezipienten hinein, und da die Pflanzenobjecte mit Stanniol beschwert am Grunde desselben verblieben, so wurden sie sofort von Wasser umhüllt.

β) Waren dieselben Rezipienten dagegen an das Vacuum des Kugelapparates angeschlossen gewesen, so wurden sie nach dem Zudrehen ihres Anschlusshahnes (*u* Fig. 4) in ein Gefäss mit Wasser getaucht und unter Wasser von dem Kugelapparat abgezogen.

γ) Bei einer ferneren Versuchsreihe wurde das Gefässchen benutzt, das in Fig. 5 dargestellt ist. Die Abbildung zeigt links wieder ein flaches Kämmerchen *K*. An dieses ist aber ein rechtwinklig gebogenes Glasröhrchen angeschmolzen, das sich durch einen eingeschliffenen Hahn *x* schliessen lässt und oben trichterförmig erweitert ist. In diese Erweiterung passt luftdicht ein Glasstöpsel. Diese Erweiterung war sammt dem benachbarten Rohrstück bis zum Hahn *x* beim Ver-

suche mit Wasser gefüllt, jedoch so, dass unter dem Glasstöpsel noch ein kleiner Luftraum *z* frei blieb. Die Probeobjecte waren wassergefüllt in das trockene Kämmerchen gebracht und mit diesem an das Vacuum des Kugelapparates angeschlossen worden. Wurde nun nach ihrer Austrocknung der Anschlusshahn *u* zum Kugelapparat geschlossen, dagegen der Hahn *x* des Trichterrohres aufgedreht, so trieb der Druck des Luftraumes *z* unter dem Stöpsel das Wasser des Trichterrohres in das Kämmerchen zu den Objecten hinüber. Die treibende Kraft konnte durch Abmessung des Luftraumes *z* regulirt werden.

Damit nun beim Oeffnen des Hahnes *x* nicht etwa aus seiner Bohrung Luft nach den Probeobjecten getrieben wurde, ehe das Wasser an sie gelangte, musste dafür gesorgt sein, dass auch diese Bohrung vor Beginn des Versuches mit Wasser gefüllt war. Dies wurde auf folgende einfache Weise erreicht. Ehe die Pflanzengewebe in das Kämmerchen *K* eingeführt waren, wurde durch den oberen Trichter des kleinen Apparates Wasser eingegossen, bis es durch das Mündungsrohr des Kämmerchens ablief, und dann der Hahn *x* geschlossen, während der Apparat bis oben mit Wasser gefüllt war. Durch Anschluss des Kämmerchens *K* an die Wasserluftpumpe konnte darauf das Wasser aus dem Kämmerchen und seinem bis zum Hahn *x* reichenden Ansatzröhrchen rasch herausgesogen werden. Hierauf wurden die Objecte in den Raum *K* eingebracht und innerhalb desselben an den Kugelapparat angeschlossen. Somit konnte der Versuch beginnen.

δ) Bei der letzten Versuchsanordnung gelangten die Pflanzenobjecte innerhalb des Knierohrs (Fig. 4) in Wasser, das sich von vornherein im Fusse (*f* Fig. 4) desselben befand. Hierbei waren sie anfänglich im Grübchen *g* (Fig. 4) zum Austrocknen untergebracht und wurden nach Beendigung desselben durch einen Stoss in das Wasser im „Fusse“ des Rezipienten befördert, wo sie sofort untersanken, da sie durch Stanniol beschwert worden waren. Die Stanniolstücke waren bei Moosblättern oder -ästchen oder bei Farnsori um ein Ende derselben mehrfach fest umgelegt. Kleine Objecte wie einzelne Farnannuli oder Selaginella-Klappen wurden dagegen in feinmaschige Tüllsäckchen eingehüllt, die zum Theil von Stanniol umfasst waren.

Bei den Versuchen dieser Art kam mir der Umstand zu statten, dass luftfreies Wasser selbst bei minimalem Luftdruck nicht zum Kochen kommt, sondern nur an der freien Oberfläche verdampft. Infolge dessen hatten z. B. Sori von Polypodium und Sporangien von Selaginella genügend Zeit, um im Grübchen *g* den ganzen Abschleuderungsprocess der Sporen zu vollziehen und ihr Wasser völlig ab-

zugeben, ohne dass dieser Vorgang durch Aufwallen des Wassers im „Fusse“ beeinträchtigt worden wäre. Ebenso gelang bei diesem Verfahren auch das völlige Austrocknen von Moosblättern im Grübchen, wenigstens wenn sie mit Alkohol durchtränkt waren. Obwohl bei diesen Versuchen der Anschlusshahn *u* zum Kugelapparat meist ganz offen gehalten wurde, so blieb doch noch Wasser genug im Fusse des Knierohres übrig, um die trockenen Objecte, nachdem sie durch einen Stoss in den Fuss des Gefässchens befördert worden waren, ganz einzuhüllen. Bisweilen musste jener Hahn allerdings vorübergehend geschlossen werden, wenn nämlich das Wasser im Knierohr an seiner Oberfläche zu gefrieren begann. Denn diese Eisdecke, welche Dampfbläschen einschloss, veranlasste oft ein starkes Stossen des Wassers, indem sie infolge von Dampfbildung unter ihr plötzlich aufwärts getrieben wurde. Beim Schmelzen derselben kam es dann nicht selten vor, dass die Objecte im Grübchen vorzeitig benetzt wurden. Daher wurde, sobald die Eisbildung begann, bei geschlossenem Hahn möglichst für Erwärmung des Wassers (bezw. des Kniegefässchens) Sorge getragen und erst nach einiger Zeit der Anschluss an das Vacuum wieder hergestellt.

Die geschilderte Einrichtung konnte nun sowohl benutzt werden, wenn die erneute Imbibition unter atmosphärischem Druck stattfinden, als wenn sie sich hauptsächlich in der „Luftleere“ vollziehen sollte. Im ersteren Fall wurde das Knierohr abgezogen, sobald die ausgetrockneten Gewebe in seinem Fussende von Wasser umhüllt waren. In letzterem Falle blieb das Kniegefäss, nach dem Einwerfen der Objecte in das Wasser an seinem Grunde, an den Kugelapparat angeschlossen, wie vorher, und zwar so lange, als die Imbibition innerhalb der „Luftleere“ dauern sollte. Dabei war je nach der Menge des noch vorhandenen flüssigen Wassers der Hahn *u* (Fig. 4), der zum Kugelapparat führt, ganz oder halb offen oder geschlossen. Es hat übrigens gar kein Bedenken, diesen Hahn ganz abzustellen, auch wenn man wünscht, dass die Imbibition unter möglichst geringem äusserem Druck vor sich gehe. Allerdings lastet ja auf dem Wasser im Kniegefäss, wenn es mit dem Trockengefäss der Luftpumpe nicht in Verbindung steht, der volle der jeweiligen Temperatur entsprechende Dampfdruck. Ganz derselbe Druck kommt aber auch im Innern der Zellräume zur Wirkung, auf deren Wasserfüllung es bei der Imbibition ja vornehmlich ankommt. Von einem äusseren Ueberdruck des Wasserdampfes kann also auch bei geschlossenem Hahn *u* nicht die Rede sein.

c) Der Apparat Fig. 4 konnte in Verbindung mit der Quecksilber-

oder der Wasserluftpumpe auch in anderer Weise benutzt werden, um direct die Luftdurchlässigkeit imbibirter Membranen zu prüfen. Hierzu wurden die natürlichen trockenen Objecte von Anfang an mit Wasser in den Fuss *f* des Knierohrs anstatt ins Grübchen *g* gebracht. War ihre Membran in feuchtem Zustande durchlässig, so hatte nach dem Oeffnen des Hahnes *u* die in den Zellräumen eingeschlossene Luft Gelegenheit, ins Vacuum zu entweichen. Allerdings musste hierbei dieser Hahn anfangs nur wenig aufgedreht werden, da sonst das Wasser durch die Luft- und Dampfblasenentwickelung sehr rasch in den Kugelapparat hinübergerissen worden wäre. Nach einiger Zeit konnte der Hahn aber mehr und mehr und endlich ganz offen gestellt werden. Wenn sich nun nach dem Abziehen des Kniegefässes in freier Luft die Objecte auffällig rasch mit Wasser durchtränkten, derart, dass sich ihre Zelllumina in erheblich kürzerer Zeit als gewöhnlich völlig mit Flüssigkeit füllten, so war man wohl berechtigt, auf beträchtliche Luftdurchlässigkeit ihrer feuchten Zellhäute zu schliessen.

Als Belege für die Brauchbarkeit der „Luftpumpenmethode“ und zum Vergleich mit später mitzutheilenden Resultaten seien hier einige Beispiele nochmals angeführt, über die ich früher gelegentlich kurz berichtet habe.[1])

Beispiel für das Verfahren bβ (pag. 115). Nachweis der Luftdurchlässigkeit der trockenen Membranen von Holunder- und Sonnenrosenmark. — Aus diesjährigem und älterem Mark von Helianthus annuus sowie aus dem Mark eines einjährigen, im Jahre 1900 geschnittenen Zweiges von Sambucus nigra wurden Würfel von 5 mm Kantenlänge hergerichtet und trocken im Grunde des Knierohrs für eine bis mehrere Stunden an den Kugelapparat der Fig. 1 angeschlossen. Darauf wurde das Gefässchen unter Wasser abgezogen. Die vorher schneeweissen Markprismen waren nun ganz kurze Zeit nachher grösstentheils durchscheinend geworden. Dass Luft aus den Zellen entwichen war, gab sich bei Helianthus auch dadurch zu erkennen, dass die Prismen namentlich an den Flächen stark eingedrückt waren. Nach elastischer Ausdehnung der Wandungen waren die Zellen aber auch schon mit Wasser erfüllt. Bei den Holundermarkstücken dauerte die volle Wasserfüllung der innersten Lumina etwas länger, doch war sie bereits nach 2—3 Stunden erreicht, während sie sonst einen Zeitraum von Tagen beansprucht.

Beispiel für das Verfahren c) (pag. 117). Nachweis der Luftdurchlässigkeit imbibirter Membranen des

1) Ber. d. deutschen bot. Ges. 1900 Bd. XVIII pag. 279—284.

fibrösen Gewebes von Amaryllis- und Fritillaria-Antheren. Reife Antheren waren in geschlossenem Zustande aus offenen Blüthen entnommen und, um ihr Aufspringen und Schrumpfeln zu hindern, in absoluten Alkohol eingelegt worden. Sie sprangen auch später kaum auf und contrahirten sich wenig, als sie aus Alkohol in die Luftleere übertragen und dort ausgetrocknet wurden. Wenn man die trockenen Objecte nunmehr in freier Luft in Wasser tauchte, so bedurfte es eines bis mehrerer Tage, um ihre Lumina zu füllen. Wurden sie statt dessen aber, im Wasser des Knierohres liegend, etwa 3—5 Minuten lang dem „Vacuum" und darauf wieder dem vollen Luftdrucke ausgesetzt, so waren ihre sämmtlichen Zellräume bereits nach einigen (höchstens 30) Minuten ganz und gar flüssigkeitsgefüllt. Zudem gab sich auch hier wie im vorigen Beispiel bei Helianthus an einer starken Formänderung der Antheren zu erkennen, dass die Luft aus ihren Zellräumen grösstentheils entwichen war. Denn die bis dahin geschlossen gebliebenen Antherenfächer öffneten sich, sobald der Luftdruck auf sie einwirkte, plötzlich sehr weit, indem ihre Klappen stark nach aussen gedrückt wurden. Offenbar waren ihre fibrösen Elemente durch den Luftdruck in derselben Weise zusammengepresst und deformirt worden, wie dies sonst durch die Cohäsion des Zellsaftes geschieht. Sobald hierauf mehr Wasser in diese Zellen eindringen konnte, ging die Bewegung der Klappen zurück, so dass die Fächer nach einer oder mehreren Minuten wieder geschlossen und die fibrösen Zellen luftfrei waren.

III. Ergebnisse der Versuche über die Durchlässigkeit der Membranen.

1. Nachweis der Durchlässigkeit von trockenen Zellhäuten aus Sporangien und Moosblättern durch die Schwefelsäureprobe.

Unter II 1 b α—γ pag. 115 ist über Beobachtungen berichtet worden, die sich auf die Zuverlässigkeit der „Schwefelsäureprobe" beziehen und ergeben haben, dass die durch die Säure umhüllten Blasen in den Zellräumen stets sehr klein ausfielen, wenn die in Rede stehenden Gewebe sofort nach der Wasserentleerung und völligen Austrocknung der Zellen geprüft wurden. Hieran knüpften sich weitere Vergleichsversuche, wobei die Säure erst nach einer Pause von 5, 10, 20—60 Minuten oder von mehreren Stunden einwirkte. Bei den Annuli von Polypodium und Scolopendrium, sowie bei den grösseren[1])

1) Gemeint sind hiermit die beim Schleuderprocess activ betheiligten dickwandigeren Elemente, deren Wände nach dem Schrumpfeln während des Schnel-

Zellen der Klappen von Mikro- und Makrosporangien der Selaginella ergab sich ausnahmslos dasselbe Resultat. Je längere Zeit, innerhalb gewisser Grenzen, seit der Wasserentleerung der Lumina verflossen war, um so voluminöser zeigten sich die Restblasen nach Einwirkung der Säure. Dabei war es gleichgiltig, ob die Sporangien zum ersten Male aufgesprungen, oder ob sie nach monate-, jahre- oder jahrzehntelangem Liegen in aufgesprungenem Zustande nach neuer Wasserfüllung wiederum ausgetrocknet waren. Auch verschlug es nichts, ob Stunden oder Tage nach der Wasserentleerung vergangen waren, wenn die Sporangien diese Zeit nur im „luftleeren" Raume zugebracht hatten.

Hatte nach der Herstellung der leeren Zellräume der Aufenthalt in freier Luft eine Reihe von Stunden gedauert, so waren die Sporangien in ihrem Verhalten zur Schwefelsäure von solchen, die jahrelang aufbewahrt worden waren, nicht mehr zu unterscheiden. Die Blasen waren nicht allein gross, sondern schlüpften vielfach, von der quellenden Membran getrieben, „von selbst" aus (vgl. Fig. 10 und 12). Betrug die Wartepause nur etwa 25 Minuten, so hatten die Blasen zwar bereits ein grösseres Volum als bei sofortiger Prüfung, sie blieben aber in den Zellräumen liegen und wichen erst bei einem Druck auf das Deckglas auseinander, wobei sie sich in der gequollenen Masse vertheilten.

Auch bei Blättern von Mnium punctatum und cuspidatum, die aus flüssigkeitsgefülltem Zustande im Vacuum ausgetrocknet waren, ohne zu schrumpfeln, hatte ich wiederholt Gelegenheit zu entsprechenden Wahrnehmungen. Von diesen sei nur ein Beispiel angeführt. An einem Blatte von M. punctatum, das nach seinem Austrocknen im Vacuum zwei Stunden in demselben verweilt hatte, fand ich zwei Minuten nach seiner Uebertragung in die freie Luft in einem Probestück Blasen von 6—12 Mikromillimeter Durchmesser. An anderen Probestücken desselben Blattes[1]) maassen die Durchmesser der Gaskugeln nach 10 Minuten durchschnittlich etwa 15 Mikromillimeter, nach 20 Minuten waren sie auf 20—25, nach 30 Minuten bereits auf 25—30 μ angewachsen, d. h. ihr Volum betrug jetzt schon mehr als das 20fache der erstgemessenen. An vier Probe-

---

lens der Gewebe elastisch zurückspringen, und nicht die Randzellen, deren Aussenhaut eingefaltet bleibt. In den letzteren sind die Lumina zu sehr verengt, um grössere Luftmengen aufzunehmen, daher fallen bei ihnen die Unterschiede in der Blasengrösse nicht so deutlich auf.

1) Alle waren aus dem Mittelfelde mit grossen Zellen entnommen.

stücken aus einem anderen Blatte fand ich nach zwei Minuten „kleine Bläschen“, nach 40 Minuten Kugelblasen von 30, nach einer Stunde solche von 35—40, nach sechs Stunden Kugeln bis zu 50 Mikromillimeter Durchmesser.

Nach diesen Ergebnissen ist doch schwer abzustreiten, dass die betreffenden Zellen nach der Wasserentziehung im luftleeren Raum anfangs nur Spuren von Luft beherbergt haben, dass aber durch ihre trockene Membran hindurch allmählich Luft eingedrungen ist. Dabei lasse ich es dahingestellt, ob dieses Gas genau die procentische Zusammensetzung der Atmosphäre hat oder einen grösseren Gehalt an Sauerstoff oder Stickstoff aufweist. Vorläufig mag die Bezeichnung „Luft“ für das Gas gestattet sein, selbst wenn es etwa nur aus O oder N bestehen sollte. Dass es vorwiegend Kohlensäure enthält, erscheint ausgeschlossen, denn sonst würde wohl seine Verdrängung durch alkalihaltiges Wasser erheblich rascher vor sich gehen.[1])

Es ist übrigens oben bereits angedeutet worden, dass die trockenen Moosblätter nur unter besonderen Umständen die besprochenen Resultate ergeben. Denn wie im Abschnitt II 1 auseinander gesetzt ist, werden ihre Zellen beim Schrumpfeln meist derart zerknittert (vgl. Fig. 7), dass sie auch bei langem Verweilen in der Luft nur wenig Gas aus ihr aufzunehmen vermögen. Die in Schwefelsäure auftretenden Blasen sind daher in diesen Fällen nicht nur gleich nach der Wasserentleerung der Zellräume sehr klein, sondern sie weisen auch später nur geringe Grössen auf, wenn die Wandungen nicht vorher angefeuchtet worden sind (vgl. Fig. 13).

2. Versuche über die Luftdurchlässigkeit feuchter Membranen in Moosblättern.

Mehr Schwierigkeit als die trockenen Membranen bereiteten mir in unserer Frage die imbibirten Zellhäute. Zwar läuft bei den Mnium-Blättern, um zuerst von diesen zu sprechen, das Ergebniss der „Schwefelsäureprobe“ mit dem der einfachen „Wasserprobe“ stets parallel. Das heisst: wies die Schwefelsäure in einem Blatte oder Blattstück das Vorhandensein grosser Gasquanta in den Zellen desselben nach, so bedurfte es auch entsprechend langer Zeit, um an einem zweiten Probeabschnitt desselben Gewebes die Blasen durch Wasser aus den Zellen zu verdrängen; waren die Gaskugeln in der Säure dagegen sehr klein, so wurden die entsprechenden Zellen auch rasch mit

1) Vgl. Prantl, Mechanik des Rings am Farnsporangium. Ber. d. deutsch. bot. Ges. IV, 1886, pag. 45.

Wasser gefüllt — und umgekehrt. Sehr auffällig war das Verhalten der Moosblattzellen jedoch bei manchen Versuchen mit der Luftpumpe. Hauptsächlich um diese eigenartigen Ergebnisse in das rechte Licht zu setzen, habe ich auf pag. 118 zwei frühere Experimente an Mark- und Antherengeweben in diesen Bericht aufgenommen. Nach dem Ausfall derselben erwartete ich, dass auch die Moosblattzellen sich sehr rasch mit Wasser füllen würden, wenn sie, im „Vacuum" ihres Saftes entleert, mit der Flüssigkeit wieder in Berührung kämen, ehe sie aus der Atmosphäre Luft aufnehmen konnten. Ich war daher nicht wenig überrascht, als sich oft gerade das Gegentheil herausstellte. Natürlich vermuthete ich zunächst verborgene Fehlerquellen und habe mich die Mühe nicht verdriessen lassen, diese Versuche immer wieder aufs Neue nach den verschiedenen Methoden zu wiederholen. Jedoch blieb das Resultat dasselbe.

Zunächst sei von jeder Versuchsreihe ein Beispiel oder ein Paar sich ergänzender aufgeführt.

a) Versuch nach dem Verfahren II, 3 b α pag. 115. Ein Aestchen von Mnium cuspidatum, das einem lebenden schwellenden Rasen entnommen, darnach aber zwei Tage lang in absoluten Alkohol eingelegt gewesen war, wurde, an einem Ende mit Stanniol beschwert, im Fusse des Kniegefässes Fig. 4, von Alkohol eingehüllt, an die Wasserluftpumpe angeschlossen und hiermit $1^1/_4$ Stunde lang evacuirt. Nach einigen Minuten war der beigegebene Alkohol völlig verdampft, und bald waren auch die Blätter trocken und ebenso stark verkrümmt und zerknittert, als wenn sie in freier Luft getrocknet wären. Als nach Ablauf der angegebenen Zeit der Hahn der Wasserleitung abgeschlossen wurde, war das Gefässchen durch den äusseren Luftdruck sofort bis auf einige kleine Blasen (oberhalb des Grübchens *g*) mit Wasser gefüllt. Da das Moosästchen aber infolge seiner Stanniolbeschwerung am Grunde des Knierohres liegen blieb, so kam es mit jenen Bläschen garnicht in Berührung. Um auch sonstigen Luftzutritt möglichst zu vermeiden, wurde das Kniegefäss zum Ueberfluss unter Wasser von dem eingeschliffenen Rohre abgezogen und das Aestchen zwei Minuten lang in diesem Wasser belassen, ehe es zur Untersuchung herausgenommen wurde. Trotzdem war ein nach einer weiteren Minute unter dem Mikroskop geprüftes (übrigens stets benetzt gebliebenes) Blatt ganz und gar voller Blasen, die die Zelllumina ausfüllten. Nach ferneren zwei Minuten wurde ein anderes Blatt nach oberflächlichem Abtupfen des umgebenden Wassers mit Schwefelsäure behandelt. Es enthielt durchweg grosse Blasen von etwa 20 μ

Durchmesser, die beständig waren und bei künstlichem Druck ausraten. 15 Minuten später erwies sich ein drittes Blatt noch etwa zur Hälfte mit Blasen gefüllt. Nach einer Stunde war an einem vierten Blatt noch etwa $^1/_3$ der Zellen mit grossen Blasen besetzt. Man beachte, dass sich die natürlichen trockenen Blätter oft momentan mit Wasser gänzlich füllen.)

b) Versuch nach dem Verfahren β (pag. 115). Ein acht Tage vorher gepflücktes Aestchen von Mnium cuspidatum war im Zimmer eingetrocknet, jedoch darnach zwei Tage lang in Wasser gelegt worden und wurde nun mit Wasser — nicht wie im vorigen Beispiel mit Alkohol — völlig erfüllt, nach Beschwerung mit Stanniol am Grunde des Kniegefässes Fig. 4 an den möglichst evacuirten Kugelapparat Fig. 1 angeschlossen. Darauf wurde sofort weiter gepumpt, bis das Quecksilber wieder klirrend anschlug und durch das Auslassventil kein Bläschen mehr entwich. Das Aestchen blieb nun eine Stunde in Verbindung mit dem „Vacuum". Hierauf wurde das Knierohr unter Wasser abgezogen und darin umgekehrt, so dass der Mooszweig auf den Grund des grösseren Gefässes zu liegen kam. Nach sechs Minuten waren die vorher ausserordentlich zerknittert gewesenen Moosblättchen zum Theil flach gestreckt, wenn auch noch an den Rändern verbogen. Zwei Minuten später wurde unter Wasser eins derselben abgezupft und sofort auf dem Objectträger mit dem Mikroskop geprüft. Es war zum grössten Theil voll grosser Blasen. Auch an einem anderen Blatte kamen bei der Schwefelsäureprobe Kugelblasen von erheblichem Volum zum Vorschein, die bei künstlichem Druck aus den Zellen ins Freie traten, ohne ihre Grösse zu verringern. Eine Viertelstunde später wurden drei neue Blätter in Wasser untersucht. Bei ihnen waren bezw. etwa $^1/_2$, $^1/_3$ und $^3/_4$ ihrer Zellen noch blasenhaltig. Nach $2^1/_2$ Stunden fand ich von neun Blättern noch drei zum grösseren Theil mit Blasen besetzt. (Siehe die Schlussbemerkung zu a, diese Seite oben.)

c) Versuche nach der Methode γ (pag. 115).

α) Ein Blatt von Mnium punctatum, das einem im Jahre 1899 gesammelten Rasen entstammte, der seitdem ohne Pressung trocken aufbewahrt worden war, wurde in Wasser eingelegt und darauf, nachdem es unter dem Mikroskop durchaus flüssigkeitsgefüllt befunden war, im Kämmerchen *k* des Apparates Fig. 5 an die möglichste Luftleere des Kugelapparates Fig. 1 angeschlossen. Dies geschah für die Dauer von sechs Stunden. Zu Anfang dieser Zeit war sofort nach dem Anschluss des Kämmerchens nachgepumpt worden, bis keine

Bläschen mehr durch das Pumpenventil entwichen. Ebenso wurde auch kurz vor dem Ablauf dieses Zeitraums constatirt, dass das Quecksilber nach einigen Pumpenzügen wieder klirrend anschlug. Nachdem dem Blatte nun in der früher geschilderten Weise Wasser aus dem Trichterrohr zugeleitet war, verblieb es, von diesem Wasser umhüllt, noch 12 Minuten lang im Kämmerchen *k*. Darauf wurde dieses unter Wasser abgezogen und das Blatt nach dem Abnehmen des Stöpsels vom Trichterrohr, von diesem aus, ebenfalls unter Wasser hinausgeblasen. Trotz all dieser Vorsichtsmaassregeln zeigte es sich bei der Besichtigung mit dem Mikroskop von oben bis unten, Zelle für Zelle, mit grossen Blasen gespickt. Selbst nach 20stündigem Verweilen in Wasser war es von diesen erst etwa zur Hälfte befreit.

β) Ein anderer Versuch wurde mit Perichaetialblättern von Mnium cuspidatum angestellt, die 1897 gesammelt, vor kurzem in Wasser eingeweicht und dann 2—3 Tage in absoluten Alkohol eingelegt gewesen waren. Sie kamen also im Kämmerchen *k* des Apparates Fig. 5 in alkoholgefülltem Zustande zur Verwendung. Hierin verblieben sie zwei Stunden und wurden dann in ähnlicher Weise behandelt, wie beim vorigen Versuche angegeben ist, nur war das Zeitmaass ein kürzeres. Eins der Blätter wurde vier Minuten nach dem Wasserzutritt mikroskopisch geprüft: es war bis auf einige Zellen an der Rippe und einige Zellgruppen im basalen Theil blasenfrei. Ein zweites Blatt erwies sich dagegen nach fünf Minuten noch zu $^1/_3$, nach 18 Minuten noch zu $^1/_5$ seines Gewebes blasenhaltig und war nach 40 Minuten noch nicht frei. Ein drittes Blatt enthielt nach 20 Minuten (vom Wasserzutritt an gerechnet) noch etwa in $^1/_{10}$ der Zellen Blasen.

Zur Controle wurden dieselben drei Blätter am nächsten Tage, nachdem sich ihre Zelllumina wieder gänzlich mit Wasser gefüllt hatten, an freier Luft von Neuem ausgetrocknet und dann nochmals mit Wasser behandelt. Diesmal war das erste Blatt nach zwei Minuten nahezu ganz blasenfrei, auch das zweite Blatt nach ungefähr drei Minuten. Im dritten Blatt war allerdings nach 40 Minuten noch $^1/_6$ der Zellen blasenhaltig.

d) Versuche nach dem Verfahren δ (pag. 116).

α) Ein Blatt von Mnium punctatum aus dem Jahre 1899, das erst einen Tag lang in Wasser völlig durchtränkt und dann wochenlang in absolutem Alkohol aufbewahrt worden ist, wird, in Stanniol gefasst und stark mit Alkohol benetzt, ins Grübchen *g* des Knierohres gebracht, während dasselbe in seinem Fusse *f* luftfreies Wasser enthält. Der Apparat ist also geradeso beschickt, wie es die Fig. 4 darstellt.

Nachdem derselbe an das Vacuum der Doppelkugeln angelegt ist, wird das Pumpen wieder aufgenommen und, soweit nöthig, fortgesetzt, bis keine Bläschen mehr durch das Quecksilberventil ins Freie befördert werden können. Der Anschlusshahn *u* blieb zunächst neun Minuten lang ganz offen, bis das Wasser im Knierohr an der Oberfläche gefror. Es gelang, das Eis durch Erwärmen des Gefässchens mit den Fingern aufzuthauen, ohne dass das Blatt im Grübchen benetzt wurde. Nun wurde der Hahn *u* von neuem geöffnet und nach weiteren vier Minuten das Blatt in das Wasser am Grunde des Gefässchen gestürzt. Es sank darin völlig unter. Nach kurzer Zeit wurde dann das Blatt aus dem abgezogenen Behälter durch einen kräftigen Stoss in ein Uhrglas mit Wasser befördert. Hierin zeigte es sich dem blossen Auge sofort ganz undurchsichtig. Unter dem Mikroskop bieten sämmtliche Zellen bis auf ganz vereinzelte klare Gruppen Blasen, die an den Rand der Lumina heranreichen. Die Schwefelsäure ergibt an einem Probestück Kugelblasen, die ähnlich wie in Fig. 14 etwa die halbe Tangentialwandung bedecken. Der übrige Theil des Blattes ist nach $5^1/_2$ Stunden noch zu $^1/_3$ bis $^1/_4$ blasengefüllt.

β) Dasselbe Blatt (von dem nur ein Streifchen zur Schwefelsäureprobe abgenommen worden war) wurde in wassererfülltem Zustande nochmals zu demselben Versuche benutzt. Es war ja vorher nur deshalb aus Alkohol ausgetrocknet worden, um sicher zu gehen, dass es gänzlich flüssigkeitsleer war, wenn es in das Wasser des Kniegefässes gelangte. Da der Innenraum dieses Recipienten aber nicht allein aus dem Blatte, sondern auch aus dem Wasser an seinem Grunde Wasserdampf empfing, so konnte ich bei der angegebenen Anordnung nur auf eine beschränkte Austrocknung des Blattgewebes rechnen. Bei dem Versuche kam diesmal obendrein noch der Uebelstand hinzu, dass das Wasser bereits vier Minuten nach dem Anschluss an das „Vacuum“ der Doppelkugeln gefror, die Eisdecke durch Dampfblasen nach oben getrieben wurde und das Blatt im Grübchen beim Schmelzen benetzte. So musste die Austrocknung schon nach vier Minuten beendigt und das Blatt in das Wasser im Fusse des Knierohres befördert werden. Dort liess sich schon mit der Lupe erkennen, dass der grössere Theil des Gewebes völlig klar geblieben, dagegen die am meisten exponirt gewesene Randpartie undurchsichtig-milchig geworden war. Nach dem Abziehen des Gefässchens wurde ein Stückchen aus diesem trüben Gewebe sofort mit Schwefelsäure untersucht. Diese ergab ein ähnliches Bild wie Fig. 14, also dasselbe Resultat

wie beim vorher erwähnten Versuche. Der übrige grössere Theil des Blattes wurde in Wasser belassen; er war nach drei Stunden noch nicht ganz frei von Blasen. — —

Was nun die Deutung dieser Versuchsergebnisse anbetrifft, so könnte man die Frage aufwerfen, ob nicht die lange Dauer der Wasserfüllung vielleicht dem Umstand zugeschrieben werden dürfe, dass die Membranen bei jenem Verfahren in überaus hohem Grade ausgetrocknet und daher schwer benetzbar geworden wären. Dem widerspricht aber die Thatsache, dass sich die Moosblätter bei allen diesen Versuchen in kurzer Zeit wieder ausbreiten und zur ursprünglichen Form zurückkehren, wenn sie nach dem Austrocknen in Wasser kommen. Die schnelle Imbibition ihrer Wandungen ist daher kaum fraglich. Berücksichtigt man auch den Ausfall der Schwefelsäureprobe, so lässt sich nicht wohl anzweifeln, dass die bei den erwähnten Versuchen beobachteten Blasen gaserfüllte und nicht leere Räume darstellen.

Woher stammen aber nun diese Gasmengen? Wollte man sich, wenn auch ungern, der Ansicht zuneigen, sie müssten innerhalb des „Vacuums“ in den Lumina der trockenen Zellen schon vorhanden sein, vielleicht entbunden aus der Membran oder aus der Zellflüssigkeit, so steht dieser Auffassung die Thatsache im Wege, dass sich solche Gasquanta, wie früher auseinandergesetzt, durchaus nicht finden lassen, wenn man die Gewebe im trockenen Zustande aus dem „Vacuum“ in die Atmosphäre bringt und untersucht. (Vgl. pag. 119 f.)

Es ist schwierig, der Folgerung auszuweichen, dass die grossen Gasmengen in die anfangs fast leeren Zellräume erst nachträglich eingeströmt sind, und, da nach der eben erwähnten Erfahrung die trockenen Membranen nicht im Stande sind, momentan grosse Luftmengen durchtreten zu lassen, dass die imbibirten Membranen der Moosblätter zum Theil ungemein luftdurchlässig sind, ja die Luft viel leichter als Wasser ins Lumen eindringen lassen. Ich gestehe gern, dass diese Auffassung wenig Befriedigendes hat, namentlich da noch die Frage beantwortet werden soll, woher denn diese Luft stamme. Die Zellräume müssten dieselbe durch die feuchte Membran innerhalb des sogenannten Vacuums aufnehmen! Darf man vielleicht annehmen, dass die Moosblätter auch im „Vacuum“ noch ein beträchtliches Luftquantum durch Absorption an ihrer Oberfläche festhalten und dass dieses in die Zelllumina eindringt, sobald die Wandung Wasser aufnimmt? Ich wage nicht, diese Fragen bestimmt zu entscheiden, möchte aber noch eine Beobachtung erwähnen, die für die eben skiz-

zirte Auffassung spricht. Auch in freier Luft gelingt es nämlich oft, Zellen von Moosblättern, die nach Ausweis der Schwefelsäureprobe sehr gasarm sind, in kürzester Zeit in solche mit grossen Blasen umzuwandeln. Ich habe wiederholt Stücke von Blättern des Mnium punctatum, die wassererfüllt ins „Vacuum“ eingebracht, dort ihrer Flüssigkeit vollständig beraubt und aus dem „Vacuum“ dann in die freie Luft übertragen waren, Zelle für Zelle sofort mit grossen Blasen besetzt gefunden, wenn sie vorübergehend, etwa auf die Dauer von 20—30 Secunden, mit Wasser in Berührung gebracht waren. Nach dieser Benetzung brachte ich nämlich die Probestücke zur Entfernung des Wassers auf einige Secunden zwischen Löschkarton oder liess sie auf der Nadelspitze abtrocknen. Wenn ich sie unmittelbar hiernach mit Schwefelsäure prüfte und sie in Bezug auf die Grösse ihrer Blasen mit Stücken desselben Blattes verglich, die trocken geblieben waren, so war stets ein erheblicher Unterschied wahrzunehmen. Ja, es kam vor, dass Abschnitte eines Blattes nach der vorübergehenden Benetzung Blasen von der in Fig. 14 dargestellten Grösse aufwiesen, während die trockengebliebenen kaum zahlreichere und grössere Bläschen erkennen liessen als die Fig. 13. Offenbar hängen diese Differenzen auch mit dem Maasse der Zerknitterung zusammen, die im trockenen Blatt vorhanden ist, aber bei der Benetzung schwindet. Kann man diese Erscheinung wohl ungezwungener erklären, als dadurch, dass die Membran nach der Wasserzufuhr in die vorher luftarmen Zellräume sehr schnell hat Luft einströmen lassen?

3. Versuche über den Einfluss äusseren Ueberdruckes auf die Wasserfüllung von Zellräumen in Farn- und Selaginella-Sporangien.

Im Anschluss an die Beschreibung der Apparate zur Luftpumpenprobe sind früher (pag. 118) einige Beispiele angeführt worden, bei denen eine sehr beträchtliche Beschleunigung der Wasserdurchtränkung von Geweben eintrat, wenn diese künstlich luftarm gemacht waren. Im vorigen Abschnitt ist davon die Rede gewesen, dass und warum dieses Verfahren bei Moosblättern nicht gelungen ist. In den nachfolgenden Zeilen habe ich nun zu berichten, dass ich auch bei den Sporangien von Farnen und von Selaginella bisher nicht im Stande gewesen bin, einen erheblichen oder augenfälligen Unterschied in der Zeitdauer der Wasserfüllung der „activen“ Zellen gleichartiger Objecte zu finden, ob diese nun in möglichst luftleerem oder in natürlichem Zustande geprüft wurden. Dieses Ergebniss könnte als ein

sehr willkommener Beleg für die Ansicht gelten, dass jene Zellen auch im natürlichen Zustande schon annähernd luftleer sind, wenn dem die Schwefelsäureprobe nicht im Wege stände. Nach dem Ausfall derselben (vgl. pag. 119 f.) müssen wir uns aber wohl damit abfinden, dass die erwähnten Zellen im trockenen Zustande erhebliche Luftmengen enthalten.

Vielleicht lässt sich aber die Schlussfolgerung umkehren. Sollte das gleichmässige Verhalten der Probeobjecte in den beiden oben bezeichneten Fällen vielleicht im Gegentheil darauf beruhen, dass sie beide Male lufterfüllt gewesen sind? Dann müsste also (ähnlich wie nach dem Berichte des vorigen Abschnittes bei den Moosblättern) trotz aller Vorsichtsmaassregeln bei der Benetzung der Membranen Luft in das Zellinnere eingedrungen sein. Bei den Mnium-Blättern konnte ich Versuche anführen, die für eine sehr hohe Durchlässigkeit eines Theiles ihrer imbibirten Membranen sprechen (pag. 121 ff.). Entsprechende Beobachtungen an den Annuli von Polypodium und Scolopendrium, sowie den Klappen von Makro- und Mikrosporangien der Selaginella gaben jedoch keinen Anlass zu einem solchen Schlusse. Denn wenn ich Objecte dieser Art, die nach Ausweis der Schwefelsäureprobe sehr luftarm waren, eine Weile feucht hielt und dann erst der Säurewirkung unterwarf, so waren die Gasmengen in ihren Lumina nicht sonderlich von denen verschieden, die sich in trocken gebliebenen Zellen nachweisen liessen, welche ebenso lange wie jene (seit der Herstellung der Luftleere in ihnen) an der freien Luft gelegen hatten. Somit gehören auch die Versuchsergebnisse dieses Abschnittes zu denen, die noch weiterer Aufklärung bedürfen.

Bei dem Berichte über dieselben beschränke ich mich auf die Wiedergabe einiger Experimente an Selaginella, mit der Bemerkung, dass die Parallelversuche mit Polypodium und Scolopendrium keine wesentlich anderen Resultate ergeben haben. Ich sehe ferner von den Beobachtungen ab, bei denen die Luftarmuth der Zellen dadurch gesichert war, dass diese sofort nach ihrem Zurückschnellen oder nach der Entziehung ihres Füllwassers durch absoluten Alkohol zur Untersuchung kamen. Nur einige Versuche mit der Luftpumpe sollen nähere Erwähnung finden. Die erste Gruppe derselben bezieht sich auf den Fall, dass die Imbibition unter atmosphärischem Drucke stattfand; bei der zweiten musste sich die Wasserfüllung der Lumina zumeist innerhalb der Luftleere vollstrecken. Diesem Spezialberichte muss ich aber eine Bemerkung über die Zeitdauer der Wasserfüllung der Zellräume unter den gewöhnlichen Umständen vorausschicken.

Diese variirt sowohl bei den Farnannuli, wie bei den Selaginella-Sporangien innerhalb gewisser Grenzen. Bei einer grösseren Zahl gleichzeitig geprüfter Objecte sind ohne erkennbare Ursache einige erheblich früher blasenfrei als andere, ebenso wie an demselben Objecte einige Zellen den anderen in der Wasserfüllung vorauseilen und einzelne andere viel länger als die Mehrzahl blasenhaltig bleiben können. Man darf also bei jedem Organ nur von einer durchschnittlichen Dauer der Blasenverdrängung sprechen. Nach meinen Beobachtungen waren nun die Makrosporangienklappen von Selaginella im Ganzen nach etwa 15 Minuten, die Klappen der Mikrosporangien dagegen erst nach etwa 30—35 Minuten blasenfrei, während die Annuli von Polypodium und Scolopendrium hierzu nur etwa 8—10 Minuten bedurften. — Gehen wir nun zu den Versuchen über.

Versuch a. Sechs reife Makrosporangien, die vor dem Aufspringen in absoluten Alkohol eingelegt und darin geschlossen geblieben waren, wurden erst einige Stunden mit Wasser durchtränkt und dann in dem Knierohr Fig. 4 dem „Vacuum“ des Kugelapparates Fig. 1 ausgesetzt. Sie begannen schon nach fünf Minuten aufzuspringen und ihre Sporen abzuschnellen. Nach weiteren acht Minuten wurde das Kniegefässchen abgezogen und sofort mit Wassser gefüllt. Nach weiteren 12 Minuten war noch ein Theil der basalen „Kahnzellen“ blasenhaltig; erst 15 Minuten nach der Benetzung waren die Blasen alle verschwunden.

Bei einem ähnlichen Versuche, wobei schon früher aufgesprungene, aber mit Wasser wieder ganz durchtränkte Sporangien benutzt wurden, beanspruchten die Klappen der Makrosporangien wiederum etwa 15, diejenigen der Mikrosporangien etwa 30 Minuten.

Versuch b. Um den Zutritt der atmosphärischen Luft zu vermeiden, wurde das Verfahren δ (pag. 116) eingeschlagen. Es wurden nämlich drei Makro- und drei Mikrosporangien, die wasserdurchtränkt, aber noch nicht aufgesprungen waren, im Tüllsäckchen eingeschlossen, in das Grübchen *g* des Knierohres Fig. 4 gebracht, während der Fuss *f* desselben luftfreies Wasser enthielt. Dieses wurde nun mit dem Kugelapparat in Verbindung gesetzt, nachdem das Trockengefäss der Luftpumpe frisch mit Phosphorpentoxyd beschickt und alles möglichst sorgfältig evacuirt worden war. Schon nach drei Minuten begann das Abschleudern der Makrosporen, nach vier Minuten die Eisbildung an der Oberfläche des Wassers. Es gelang aber nach dem Aufthauen der Eisdecke, trotz wiederholter Erneuerung derselben, die Sporangien 20 Minuten lang im Grübchen trocken zu erhalten. Natürlich wurde

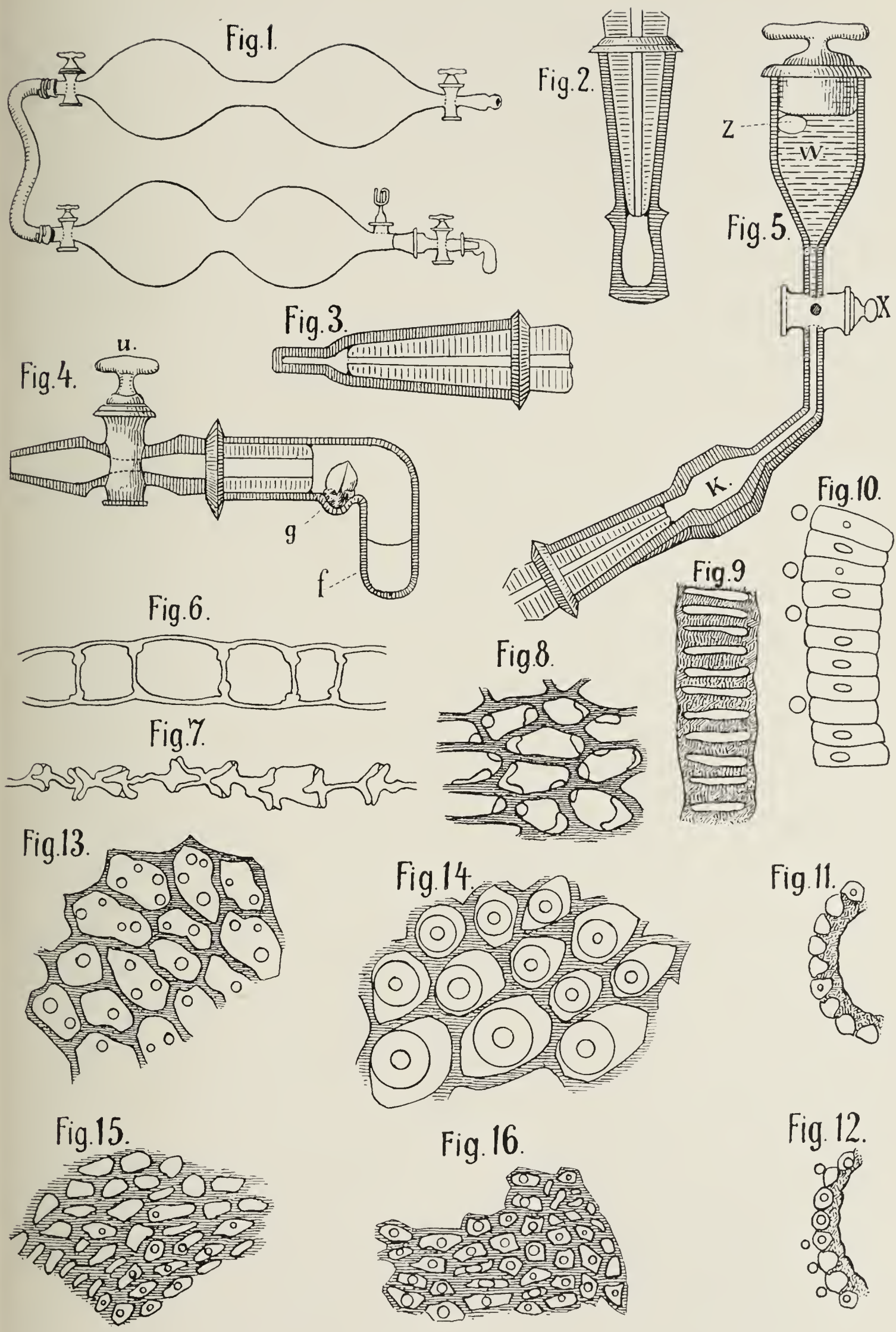
während dieser Zeit das Vacuum durch Nachpumpen möglichst aufrecht erhalten, derart, dass nur Bläschen von Stecknadelkopfgrösse das Auslassventil passirten. Nachdem das stanniolbeschwerte Säckchen mit den Sporangien auf den Grund des Wassers im Knierohr befördert war, wurde dieses abgezogen, mit Wasser aufgefüllt und in einem grösseren Wassergefäss umgekehrt, so dass das Säckchen auf den Boden desselben zu liegen kam. Die Blasenverdrängung nahm nun bei den Makrosporangien wieder 15, bei den Mikrosporangien etwa 35 Minuten in Anspruch.

Versuche c. Am bemerkenswerthesten war die Feststellung der Imbibitionsdauer bei verringertem Luftdruck nach dem pag. 117 besprochenen Verfahren. Einmal wurden acht bereits aufgesprungene, aber mit Wasser von Neuem ganz durchtränkte Makrosporangien in derselben Weise wie bei Versuch b 20 Minuten lang im Grübchen getrocknet. Sie verweilten aber darauf 14 Minuten lang innerhalb des Wassers im Knierohr, ehe der atmosphärische Luftdruck zugelassen wurde. Innerhalb der nächsten 2—3 Minuten wurden von den 16 Klappen 12 untersucht. Von diesen waren 10 ganz blasenfrei, zwei hatten noch 5 bezw. ca. 20 Blasen im „Kahn". — Um dem Einwand zu entgehen, die Klappen dieses Versuches wären trotz des Ergebnisses b nicht ausgetrocknet gewesen, wurden ein anderes Mal wieder Sporangien verwendet, die vor dem Aufspringen in absoluten Alkohol gelegt und einige Stunden vor dem Versuche aus diesem in Wasser gebracht worden waren. Es waren 10 einzelne Mikrosporangien. Sie schnellten im Grübchen während 20 Minuten Austrocknens ihre Sporen ab und verweilten dann 18 Minuten in der „Luftleere" des Knierohres im Wasser; die fernere Zeit verblieben sie unter dem Druck der Atmosphäre im Wasser. 25 Minuten nach Beginn der Benetzung wurde bereits die Hälfte aller Klappen blasenfrei gefunden. Nach weiteren fünf Minuten waren nur noch in drei Klappen Gruppen blasenhaltiger Zellen zu finden.

In keinem der erwähnten Versuche a, b und c war also eine wesentliche Aenderung der gewöhnlichen Imbibitionsdauer zu constatiren.

IV. Schlussergebniss.

a) Die Membran von Zellen der Farnannuli, Selaginellasporangien und Mniumblätter vermag das Eindringen von Luft (oder Bestandtheilen der Luft) in die Lumina im trockenen Zustande nicht zu verhindern und z. Th. wahrscheinlich noch weniger nach Befeuchtung.



gez. C. Steinbrinck.

b) Dass die trockenen Moosblattzellen trotzdem meist nur wenig Luft enthalten, selbst wenn ihr Protoplast abgestorben ist, beruht auf der starken Zerknitterung, die ihre Wände beim Wasserverlust erfahren.

c) Warum aber auch bei den Farn- nnd Selaginella-Sporangien die Blasenverdrängung und die Wasserfüllung ihrer „activen“ Zellen so rasch vor sich geht, trotzdem ihre Membranen nicht zerknittert bleiben, ist noch nicht ganz aufgeklärt.

d) Bei den Mnium-Blättern ist übrigens nur ein Theil der Membran jeder Zelle luftdurchlässig; der andere Theil widersteht sogar einem Ueberdruck von mehreren Atmosphären. Wahrscheinlich sind es die obere und die untere Tangentialwand der Blattzellen, die sich in dieser Beziehung verschieden verhalten. Ob sich bei den besprochenen Sporangien dieselbe Differenz findet, ist noch nicht constatirt.

Figurenerklärung zu Tafel V.

Figg. 1—5. Apparate zur Luftpumpenprobe, Fig. 1 stark verkleinert, Figg. 2—5 nahezu in natürlicher Grösse. Erklärung siehe im Text pag. 114—118.

Figg. 6 und 7 (150 : 1). Querschnitte durch ein trockenes Blattstück von Mnium punctatum; Fig. 7 in Kanadabalsam zerknittert geblieben; Fig. 6 in Wasser wieder entfaltet.

Fig. 8 (100 : 1). Trockenes Blattstück von Mnium punctatum in Flächenansicht, nach Wasserzusatz. Die bohnen- oder U-förmigen Blasen in den Ecken sind Lufträume.

Figg. 9—12 (130 : 1). Annuluszellen von Scolopendrium officinarum; in Figg. 9 und 10 von aussen, in Figg. 11 und 12 von der Seite gesehen; Ergebnisse der „Schwefelsäureprobe“; in Figg. 9 und 11 an frisch geschnellten, in Figg. 10 und 12 an längst geschnellten Sporangien. Bei den letzteren sind die Blasen zum Theil ausgetreten.

Figg. 13 und 14 (100 : 1). Blattstücke von Mnium punctatum in Flächenansicht nach der Schwefelsäureprobe. Fig. 13 Stück eines trockenen, im „Vacuum“ wasserentleerten Blattes mit einer oder mehreren kleinen Blasen in jeder Zelle. Fig. 14 ein luftreiches Blattstück mit je einer grossen Blase pro Zelle (die grösseren Kreise geben den Umfang der Blasen, die inneren den lichten Kern derselben an, wo keine totale Reflexion stattfindet). — Erklärung s. pag. 109 u. 121 ff.

Figg. 15 und 16 (130 : 1). Selaginella, Mikrosporangium, Zellen in Flächenansicht nach der Schwefelsäureprobe. Bei Fig. 15 war die Säure 30 Secunden nach dem Schnellen zugesetzt; sie gibt das Aussehen des Gewebes nach 15 Minuten wieder. Nur in einem Theil der Zellen sind noch kleine Blasen; auch die Umgebung des Objectes ist davon frei. Fig. 16 bezieht sich auf ein längst geschnelltes Sporangium, 25 Minuten nach dem Säurezusatz. Fast jede Zelle enthält noch eine Blase. (Auch die Umgebung wies übrigens viele Blasen auf, die ausgeschlüpft waren.)

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Flora oder Allgemeine Botanische Zeitung

Jahr/Year: 1903

Band/Volume: 92

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

Artikel/Article: Versuche über die Luftdurchlässigkeit der Zellwände von Farn- und Selaginella-Sporangien, sowie von Moosblättern 102-131