Laubmoosstudien I.

Die Verfärbung der Polytrichaceen in alkalisch reagierenden Flüssigkeiten.

Von **Karl v. Schoenau,** München.

(Mit Tafel IX.)

Die in folgenden Zeilen geschilderte Erscheinung der Verfärbung der Polytrichaceen in alkalisch reagierenden Flüssigkeiten wurde beobachtet bei dem Versuche, diese Moose untergetaucht in Leitungswasser, destilliertem Wasser und in (meist 0,25 %igen) Lösungen verschiedener Salze zu kultivieren, um so Veränderungen des normalen Wachstums und der Gestaltung der vegetativen Organe zu erhalten. Als Versuchspflanzen dienten Polytrichum commune, formosum, strictum und juniperinum, sowie Catharinaea undulata; die Stämmchen wurden mit destilliertem Wasser gründlich abgewaschen und nach Möglichkeit von anhaftenden Humusteilchen und Fremdkörpern gereinigt. Der unterirdische, rhizomartige Teil wurde stets ganz entfernt, die basale Partie des oberirdischen Sprosses von Polytrichum strictum des mit Fremdkörperchen innig vermengten Rhizoidfilzes beraubt. Die kräftigen Polytrichum-Stämmchen kamen, zu Büscheln vereint, in Glaszylindern aufrecht in Kultur, die schwächeren Catharinaea-Sprosse liegend in die Flüssigkeit. Bei Auftreten von Pilzen und Bakterien war zuweilen eine Erneuerung der Lösung notwendig. Die Kulturen standen in einem Gewächshaus des botanischen Gartens, ziemlich hoher Temperatur (Wasserwärme in den Sommermonaten von 16—28° C schwankend) und Belichtung ausgesetzt, Kontrollversuche an einem Nordfenster des Instituts mit der gleichmäßigen Temperatur von 18—19° C.

Die Versuche wurden ausgeführt im pflanzenphysiologischen Institut in München; Herrn Geheimrat v. Goebel möchte ich an dieser Stelle für sein stetes liebenswürdiges Entgegenkommen meinen innigen Dank zum Ausdruck bringen.

Die in morphologischer Hinsicht gewonnenen Ergebnisse sollen, da die Versuche nicht vollständig abgeschlossen sind, erst später zur Mitteilung gelangen.

Vorauszuschicken sind einige Bemerkungen über den Bau des Polytrichum-Blattes und die Struktur seiner Zellen, deren Kenntnis für den Vergleich mit den in den Versuchen auftretenden Erscheinungen wissenswert ist.

Das Polytrichum-Stämmchen ist in seinem oberen Teil von allseitig abstehenden, dunkelgrünen Blättern besetzt; nach unten, gegen die Basis des Sprosses hin, sterben die Blätter allmählich ab und nehmen dann eine hell- bis dunkelbraune Farbe an. Das Blatt gliedert sich in zwei Hauptteile, in einen unteren, nur in der Jugend Chloroplasten führenden, im fertigen Zustande vollständig hyalinen, dem Stämmchen dicht anliegenden und es teilweise umfassenden Scheidenteil und in den grünen, turgeszent abstehenden bis zurückgekrümmten Blatteil. Während bei den meisten Laubmoosen das Blatt eine einschichtige Zellfläche darstellt, die nur in ihrer Mitte von einer schmalen mehrschichtigen Rippe durchzogen werden kann, nimmt bei den Polytrichum-Arten die Rippe den größten Teil der Blattfläche ein und die eigentliche Spreite stellt eine einschichtige, bei manchen Arten, wie z. B. Polytrichum commune und formosum, nur einige Zellen breite, bei anderen Arten (Polytrichum strictum, juniperinum u. a.) breitere, aber dann chlorophyllose Randzone dar. Auf der Rippe entspringen jene charakteristischen, mehrere Glieder hohen, aber nur eine Zelle breiten Zellplatten, die Lamellen, die in der Längsrichtung des Blattes laufen und das Assimilationsgewebe darstellen, sowie auch der kapillaren Leitung und Festhaltung von Wasser dienen [1]).

Wenn daher der Bau der Blattzellen einzusehen ist, so genügt es hier nicht, das Blatt ausgebreitet auf den Objektträger zu bringen, da dann nur die Zellen der Blattspreite und die des Scheidenteils der Untersuchung zugänglich sind. Ich verfuhr einfach in der Weise, daß ich mit einem scharfen, senkrecht zur Blattfläche gestellten Spatel die Lamellen abschabte und deren Zellen in der Seitenansicht beobachtete; nach Entfernung der Lamellen sind dann auch die Epidermiszellen des Blattes in der Oberflächenansicht zu sehen. Die Zellen der Lamellen erscheinen, von der Seite gesehen, von parenchymatischer polygonaler Gestalt und in Reihen angeordnet. Bei manchen Arten weichen die Zellen der obersten Reihe von den übrigen gestaltlich ab und zeigen, vor allem im Blattquerschnitte gesehen, eine charakteristische, je nach der Art verschiedene und deshalb auch systematisch als Unterscheidungs-

1) Näheres über den Bau des Blattes und der Lamellen siehe bei Lorch, Die Polytrichaceen, eine biologische Monographie. Abhandl. der K. bayr. Akad. der Wiss., Kl. II., Bd. XXIII, Abt. 3, pag. 460ff. 1908.

merkmal verwendete Form. Bei Polytrichum commune erscheinen sie, von der Seite betrachtet, länglich und zwar aufrecht gestellt. Die Wände, mit denen die Lamellenzellen aneinander grenzen, sind im normalen Zustand glänzend hyalin und kräftig entwickelt; besonders stark ist die Verdickung an den Außenwänden der Lamellenendzellen. In jeder Lamellenzelle finden wir einige wenige, aber große, teilweise sogar klumpige, scharf begrenzte, tief grüne Chloroplasten; in den Epidermiszellen des Blattes sind kleine, rundliche Chlorophyllkörper, aber in größerer Zahl vorhanden. Bei Polytrichum strictum enthält das Blatt selbst nur sehr wenig Chlorophyll und die Assimilationstätigkeit ist ganz den Lamellen übertragen. Die Blattscheide enthält nur im Jugendstadium des Blattes kleine Chloroplasten in ihren Zellen.

Zur Herbeiführung der Plasmolyse, die mir als Erkennungszeichen des Lebens der Blattzellen diente, wurde stets 10 %ige Kalisalpeterlösung verwendet; die Abhebung des Zellinhaltes erfolgt dann sofort und in typischer Weise. Sie ist in den abgeschabten Lamellen und den Zellen der einschichtigen Spreite ohne weiteres zu sehen, etwas schwieriger hingegen zu beobachten in den Epidermiszellen der Blattober- und unterseite. Den Eintritt der Plasmolyse (das Abheben der Plasmamembran in den Zellecken) beobachtete ich bei ausgewachsenen Blättern von Polytrichum commune im Januar bei Einwirkung von 6 - 7 %iger Kalisalpeterlösung, bei Polytrichum formosum im Frühling schon bei 5 %iger Lösung, so daß sich entweder die einzelnen Arten an und für sich schon oder je nach der Jahreszeit verschieden verhalten.

Endlich haben wir noch den Absterbeerscheinungen der Blattzellen einige Betrachtung zu schenken. Schon bei der Untersuchung von normal grünen Blättern fallen uns einzelne Zellen auf, deren Chloroplasten keine scharfe Begrenzung mehr zeigen, eigentümlich granuliert erscheinen und an Stelle ihrer früheren intensiv grünen Farbe ein blaßgrünes Kolorit angenommen haben. Vorzüglich beobachten wir diese Erscheinung in den länglich-rechteckigen Epidermiszellen der Blattoberseite, die die mittlere Partie der Blattrippe bedecken. In derartigen Zellen ist oft schon keine Plasmolyse mehr zu finden. Schreitet die Schädigung fort, so sind die Chloroplasten nicht mehr als einzelne Körper zu erkennen, sondern die ganze Zelle erscheint von einer gleichartigen, blaßgrünen, stark granulierten Masse erfüllt; Plasmolyse tritt in solchen Zellen zumeist nicht mehr ein. In diesem Stadium oder auch schon früher treten stark lichtbrechende, daher hellglänzende Tröpfchen auf, die als Zerfallsprodukte des Chlorophylls

anzusehen sind[1]). Zu ihnen gesellen sich kleine Körperchen von kupferroter Farbe, die oft zu mehreren beisammen in lebhafter Molekularbewegung begriffen sind; sie wurden auch in abgestorbenen Blättern von Funaria hygrometrica von Gr. Kraus 1869[2]) beobachtet. Abgesehen von diesen Zerfallsprodukten sehen wir die Zelle leer, und nur bei Zusatz von Jod oder Methylenblau und anderen Färbemitteln werden kleine schwache Inhaltskörperchen sichtbar.

Das Verhalten von Polytrichum im Leitungswasser beschreibt Goebel in seiner experimentellen Morphologie wie folgt: „Stellt man einen Rasen des Laubmooses Polytrichum commune in Wasser, so sterben die an der Luft gebildeten Blätter bald ab, was sich durch Schwarzwerden kundgibt. Die Spitze des Sprosses wächst aber weiter und bildet grünbleibende, dem Wasserleben angepaßte Blätter“[3]). Die Wiederholung dieses Versuches mit Polytrichum commune, formosum, strictum und mit Catharinaea undulata bestätigte die eben angeführte Beobachtung: Es trat eine starke, bis ins Schwarze gehende Bräunung der Blätter ein, was ich gleichfalls als Zeichen ihres Todes betrachtete. Die dann am Gipfeltrieb neu auftretenden Blätter zeigten eine frisch grüne Farbe (Taf. IX, Fig. 3 stellt die apikale Partie einer solchen Pflanze dar).

Ein ganz anderes Bild als die im Leitungswasser untergetauchten Exemplare zeigen in destilliertem Wasser versenkte Pflanzen. Der auffallende Unterschied, der Pflanzen in Leitungswasser auf den ersten Blick von solchen in destilliertem Wasser kennen läßt, liegt darin, daß die starke Schwärzung, die im Leitungswasser die Blätter befällt, im destillierten unterbleibt und die Pflanzen ihr natürliches frisch grünes Aussehen beibehalten. Die Verfärbung der Blätter im Leitungswasser ist, wie schon aus der eben zitierten Stelle Goebel's hervorgeht, eine so intensive, daß man die Blätter ohne weiteres für tot halten muß. Nur die jüngeren Blätter am Vegetationspunkt behalten ihre grüne Farbe bei und frisches Grün ist auch die Farbe der

---

1) Daß es sich bei diesen Tröpfchen nicht, wie Letzerich (Über die Entwicklungsgeschichte der Lamellen auf der inneren Blattfläche der Polytrichaceen. Wiesbaden 1861) meint, um ein die Stärke ersetzendes Fett handelt, geht wohl schon daraus hervor, daß die Tröpfchen nur in kranken, niemals aber in gesunden Zellen gefunden werden konnten.

2) Gr. Kraus, Einige Beobachtungen über den Einfluß des Lichtes und der Wärme auf die Stärkeerzeugung im Chlorophyll. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. VII, pag. 511.

3) Goebel, Experimentelle Morphologie der Pflanzen, pag. 36, Teubner 1908.

Blätter an den im Wasser auftretenden Neutrieben. Es lag also die Annahme nahe, daß bei Versenkung in Leitungswasser eine starke Schädigung der Pflanzen eintritt, die sich im Absterben der Landblätter kundgibt, daß aber diese Schädigung überwunden wird und dann ein Fortwachsen des Sproßgipfels und Bildung neuer, den veränderten Verhältnissen angepaßter Blätter stattfindet.

Die nähere Untersuchung eines derartig braun gewordenen Blattes ergibt aber eine interessante Tatsache: Schon bei genauerer Betrachtung fällt uns ein wenn auch nur schwach wahrnehmbarer, grüner Schimmer auf der Blattoberseite auf; die Zellen der Lamellen des schwarzbraunen Blattes enthalten nämlich, wie auch die Mehrzahl der Zellen des Blattes selbst, vollständig normale Chloroplasten; mit Jodjodkalium lassen sich in ihnen deutlich Stärkekörper nachweisen. Bei Zusatz von 10 %iger Salpeterlösung tritt sofort Plasmolyse ein. Das gleiche ist auch in den Blattzellen geschwärzter Catharinaea-Blätter zu beobachten. Die Zellen sind demnach lebend und ihr Inhalt unterscheidet sich in keiner Weise von dem der Zellen von Pflanzen im destillierten Wasser[1]). Den besten Beweis für das Leben dieser Blätter bringt aber die Tatsache, daß ihnen gleich den grünen Blättern im destillierten Wasser die Fähigkeit zukommt, aus den Zellen ihrer Lamellen Protonemafäden zu entwickeln, an denen dann zarte junge Pflanzen (blattbürtige Adventivtriebe) entstehen (Taf. IX, Fig. 1 und 2). Diese Erscheinung wird uns später noch eingehend beschäftigen[2]); hier sei nur erwähnt, daß sie bei den Blättern von Catharinaea nicht beobachtet wurde.

Während also das Innere der Blattzellen nicht in wahrnehmbarer Weise verändert ist, erscheinen die Zellwände des ganzen Blatteils, der Rippe, der Spreite wie der Lamellen stark gebräunt. Die ins Schwarze gehende Verfärbung des Blattes ist somit lediglich auf die starke Bräunung der Zellmembranen zurückzuführen. Um in den sich hier abspielenden Vorgang einen Einblick zu gewinnen, müssen wir dem chemischen Aufbau der Zellmembranen bei den Laubmoosen, speziell bei den Polytrichaceen eine Betrachtung widmen.

Die chemische Struktur der Zellmembranen der Laubmoose ist, soweit ich die Literatur überblicken kann, nur von drei Forschern einer eingehenderen Untersuchung unterzogen worden, näm-

1) Bei Entnahme des Blattes aus dem basalen Teil des Stämmchens trifft man natürlich die oben geschilderten Absterbeerscheinungen in den Zellen an.

2) Im II., morphologischen Teil dieser Studien.

lich 1895 von Gjokić[1]), 1900 von v. Derschau[2]) und vor allem 1899 von Czapek[3]). Es sei mir gestattet, einen kurzen Überblick über unsere Kenntnis auf diesem Gebiete zu geben.

Zellulose ist nach Gjokić bei den Lebermoosen stets direkt und in allen Zellwänden nachweisbar, eine Angabe, die nach Czapek sich auf allzu geringes Untersuchungsmaterial gründet und nicht allgemein zutrifft. Bei den Laubmoosen wurde eine direkte Zellulosereaktion nur in vereinzelten Fällen beobachtet, so z. B. von Gjokić im Stämmchenquerschnitt von Catharinaea undulata, in den Zellen um den Zentralstrang und den dünnen Querwänden der Zentralstrangzellen in jüngeren Teilen des Polytrichumsprosses, in den Zellen der Sporogonwand und der Kolumella mancher Moose, von v. Derschau als vorübergehendes Stadium bei der Peristomentwicklung. In der Regel tritt die Zellulosereaktion erst nach Vorbehandlung, so mit Schulze'scher Mischung oder Chromsäure (Gjokić), nach kürzerem oder längerem Kochen in Natronlauge (Czapek) oder nach 24stündigem Liegen in Eau de Javelle (v. Derschau) ein, dann aber in typischer Weise und in allen Zellen. In Kupferoxydammoniak ist diese Zellulose nur schwer löslich: Gjokić fand, daß Schnitte darin wohl stark quellen, aber sich nicht vollständig lösen; Kamerling[4]) stellte ihre schwere Löslichkeit in den Membranen der Marchantiarhizoiden fest, wo Zellulosereaktion schon ohne Vorbehandlung eintritt. Nur aus den jungen Peristomzähnen konnte v. Derschau die Zellulose ausziehen. Aus all dem geht hervor, daß die Zellulose nicht rein, sondern in inniger Verkettung mit anderen Substanzen in der Membran enthalten ist.

Kutin wurde von v. Derschau in den Zähnen und Ringzellmembranen an älteren Entwicklungsstadien des Peristoms, von Bastit[5]) in der Epidermis des Polytrichumstämmchens nachgewiesen.

Charakteristisch für die Zellwände der Laubmoose ist, daß sämtliche Reaktionen auf „Holz“ ein vollständig negatives Resultat ergeben.

---

1) Gjokić, Über die chemische Beschaffenheit der Zellhäute bei den Moosen. Österr. bot. Zeitschr., Jahrg. 45, pag. 330.

2) v. Derschau, Die Entwicklung der Peristomzähne des Laubmoossporangiums. Bot. Zentralbl., Bd. LXXXII, pag. 194.

3) Czapek, Zur Chemie der Zellmembranen bei den Laub- und Lebermoosen. Flora, Bd. LXXXVI, pag. 361.

4) Kamerling, Zur Biologie und Physiologie der Marchantiaceen. Dissert., Jena 1897, pag. 9.

5) Bastit, Recherches anatomiques et physiologiques sur la tige et la feuille des mousses. Revue génér. de Botan. 1891, Tome XXX.

Gjokić untersuchte die Membranen von Rhizoiden, von Stamm, Blatt, Seta, Peristom und Sporogonwand der verschiedensten Laubmoose, auch von Polytrichum und erhielt nirgends eine Ligninreaktion. Er kommt daher zu dem Ergebnis, daß in den Membranen der Laubmoose kein Lignin (Hadromal bzw. Vanillin) enthalten ist und sie als vollkommen unverholzt zu bezeichnen sind, ein Resultat, das sowohl Czapek wie auch v. Derschau vollauf bestätigen konnten. Obwohl nun schon Gjokić darauf hinweist, daß es demnach nicht richtig ist, die Ausdrücke „Holz“ und „verholzt“ bei Moosen zu verwenden, so kehren diese Bezeichnungen doch stets in systematischen Werken wieder (z. B. Warnstorf, Sphagnologia universalis, pag. 8, wo vom Holzzylinder des Sphagnumstämmchens die Rede ist und Roth, Die europäischen Laubmoose, Bd. I, pag. 7, wo die Polytrichumsprosse zu den „am meisten verholzten Stengeln“ gerechnet werden). Ich möchte daher nochmals darauf hinweisen, daß der Ausdruck „Holz“ weder in chemischem Sinn (Hadromaleinlagerung in die Membran) noch im anatomischen Sinn (das vom Kambium beim sekundären Dickenwachstum nach innen zu erzeugte Gewebe) bei den Moosen verwendbar ist.

Pektin scheint bei den Laubmoosen überall vorzukommen; so konnte es Gjokić stets mit Rutheniumsesquichlorür nachweisen, v. Derschau fand in den Peristomzähnen starke Pektininkrustierung und Czapek schreibt den Pektinsubstanzen einen bedeutenden Anteil am Aufbau der Membranen zu.

Suberin, von v. Derschau im Peristom gesucht, konnte nicht gefunden werden.

Von besonderem Interesse und für die Zellmembranen der Moose äußerst charakteristisch sind aber zwei Substanzen, deren genauere Kenntnis wir Czapek verdanken und die beide sowohl zusammen in einer und derselben Membran sich vorfinden, wie auch gegenseitig sich in ihrem Vorkommen ausschließen können. Die eine Substanz, deren Vorhandensein durch die Millon'sche Reaktion angezeigt wird, bezeichnete Czapek als Sphagnol, da er sie bei den Torfmoosen in besonders reichlichem Maße fand und auch aus diesen extrahierte. Sie besitzt phenolartigen Charakter und ist, wie schon aus der Tatsache hervorgeht, daß nach ihrer Extraktion die Zellulosereaktion zu erhalten ist, in chemischer Bindung mit der Zellulose vorhanden. Sie wurde auch von v. Derschau in den älteren Peristomzähnen konstatiert.

Die zweite den Moosen eigentümliche Membransubstanz, die sich durch starke Eisenreaktion als Gerbstoff kundgibt, und, da sie besonders reichlich bei Dicranaceen vorkommt, von Czapek die Bezeichnung „Dicranumgerbsäure“ erhielt, ist allen Anzeichen nach gleich dem Sphagnol an die Zellulose gebunden, da auch erst nach ihrer Extraktion eine Zellulosereaktion zu erzielen ist. Sphagnol und Gerbstoff können sich, wie schon erwähnt, gegenseitig ausschließen, und dies scheint für die Mooskapsel zuzutreffen, wo v. Derschau nur Sphagnol fand [1]).

Endlich sind noch Fette anzuführen, die ebenfalls am Aufbau der Membranen teilnehmen, wie Jönsson-Olin gezeigt haben [2]).

Wie steht es nun mit den Zellwänden des Polytrichaceen-Blattes?

Direkte Zellulosereaktion mit Chlorzinkjod beobachtete Czapek nur bei den Membranen der Blattgrund-(= Blattscheide-?)zellen, bei Catharinaea erhielt er mit dem gleichen Reagens zwar eine starke Quellung der Membranen, aber nur an den Randzellen eine schwache Violettfärbung. Eine solche konnte ich auch in den Verdickungen der Lamellenendzellen bei Polytrichum mit Chlorzinkjod erhalten. Eine deutliche Reaktion tritt aber bei Polytrichum wie Catharinaea erst dann ein, wenn man das Blatt mehrere Stunden (am besten über Nacht) in Eau de Javelle legt, gut auswäscht und Chlorzinkjod zusetzt: Die Wände färben sich sofort schön hellviolett, wobei stets (in den Lamellen, am Blattrand wie im Scheidenteil des Polytrichum-Blattes und in der Spreite bei Catharinaea) eine ziemlich breite, sich nicht färbende Mittellamelle hervortritt. Auch nach Kochen des Blattes mit Kalilauge ist Zellulosereaktion zu erhalten. Die durch die Einwirkung des Leitungswassers gebräunten Blätter zeigen nach Eau de Javelle-Behandlung in gleicher Weise die Zellulosereaktion, ein Anzeichen dafür, daß die Zellulose durch die Verfärbung keine Veränderung erlitten hat. Die oben erwähnte schwere Löslichkeit der Zellulose in Kupferoxydammoniak kommt auch den Blättern von Polytrichum zu. — Die Färbung der

1) Czapek fand bei den von ihm geprüften Dicranum-Arten nur Gerbsäure und kein Sphagnol. Bei Dicranum undulatum konnte ich aber deutliche Millon'sche Reaktion in den Zellwänden des Blattes feststellen; es scheinen somit die einzelnen Arten sich verschieden zu verhalten.

2) Jönsson-Olin, Der Fettgehalt der Moose. Lunds Univers. Årsskr., Bd. XXXIV, Afd. 2, Nr. 1.

Pektine mit Rutheniumrot tritt allenthalben in den Membranen des Blattes auf.

Hinsichtlich des Sphagnols und des Gerbstoffes gehören die Polytrichaceen zu denjenigen Moosen, wo beide Stoffe zusammen vorkommen. Die Millon'sche Reaktion der Wände wurde schon 1886 von Krasser[1]) an den Blattzellen beobachtet und Correns[2]) wie Czapek bestätigen diesen Befund. Sie tritt auch noch bei Blättern ein, die monatelang in absolutem Alkohol, hingegen nicht mehr in solchen, die in Eau de Javelle gelegen hatten.

Gerbstoff wurde von Czapek mittels Eisenreaktion bei Catharinaea „allenthalben", bei Polytrichum „im oberen Teile der Blätter und in den Rippen" gefunden[3]). Zur Reaktion auf Gerbstoff verwendete ich die von Behrens[4]) empfohlene ätherische Eisenchloridlösung in einer Konzentration von 1 : 10, in die ich die ganze Pflanze eintauchte: es tritt dann sofort intensive Schwärzung ein. Diese beruht aber lediglich auf einer Schwarzbraunfärbung der Membranen, der Zellinhalt wird durch das Reagens zwar verändert, zeigt jedoch keine Farbreaktion. Wässerige Eisenchloridlösung (ebenfalls 1 : 10!) wirkt bedeutend langsamer ein; die basalen Blätter färben sich am ehesten schwarz, lange bevor die oberen Blätter eine Verfärbung aufweisen. Was weitere Gerbstoffreaktionen betrifft, so müssen wir von vornherein damit rechnen, daß, da es sich um einen in der Zellmembran enthaltenen Gerbstoff handelt, manche von ihnen versagen werden; so war die Anwendung von Chromsäure und der Tinctura ferri acetici ohne Erfolg[5]). Ein positives Resultat ergab Ferrosulfat (nach Loew-Bokorny[6]) besonders nach vorhergehendem Aufkochen der Blätter in Wasser, sowie die von Dufour angegebene Reaktion mit Salzsäure und Osmiumsäure[7]), die in einer Blauviolettfärbung der Membranen[8]) sich zeigte. Auf den Gerbstoffgehalt

1) Krasser, Untersuchungen über das Vorkommen von Eiweiß in der pflanzlichen Zellhaut. Sitzungsber. Akad. Wien, Dezember 1886, Bd. XCIV, Abt. 1, pag. 146.

2) Jahrb. f. wiss. Botan. 1894, Bd. XXVI, pag. 628.

3) l. c. pag. 371.

4) Behrens, Tabellen zum Gebrauch bei mikroskopischen Arbeiten. Leipzig 1908.

5) Zimmermann, Die botanische Mikrotechnik, pag. 111 u. 113. Tübingen 1892.

6) Zimmermann, l. c. pag. 111.

7) Zimmermann, l. c. pag. 113.

8) Führt man die Dufour'sche Reaktion in vitro mit Tannin- oder Gallusgerbsäurelösung aus, so tritt eine tiefblaue Färbung bzw. Ausfall tiefblauer Körperchen ein; der in der Polytrichummembran hervortretende ins rötliche spielende Farbenton fehlt.

deutet ferner hin die Braunrot- bis Braungelbfärbung der Wände, die bei längerem Liegen des Blattes in Kalilauge eintritt[1]), sowie ihre intensive Blaufärbung bei Einwirkung von wässeriger Methylenblaulösung[2]). Bei den mit Eau de Javelle behandelten Blättern unterbleibt die Gerbstoffreaktion, denn diese Lauge löst in gleicher Weise Sphagnol wie Gerbstoff aus ihrem Verbande mit der Zellulose, und dadurch wird das Eintreten der Zellulosereaktion ermöglicht.

Mit Osmiumsäure allein behandelt färbt sich das Blatt schwärzlich; seine Membranen nehmen eine lila oder schmutziglila Färbung an; ob und inwieweit damit Fette angezeigt werden, wage ich nicht zu entscheiden. Mit Cyanin, das Jönsson-Olin zum Nachweis der Fette verwendeten, tritt eine intensive Färbung der Membranen ein.

Bei Anwendung der wässerigen Lösung von Ferrichlorid, sowie auch bei längerem Verweilen der Pflanze in sehr verdünnter Lösung (nur einige Tropfen der wässerigen Eisenchloridlösung im Liter Aqua destillata) tritt eine eigentümliche Erscheinung zutage, die darin besteht, daß das Polytrichum-Blatt anfangs nur an einer bestimmten Stelle — auch für die jungen Blätter trifft dies zu — sich schwärzt, während seine übrigen Partien noch lange Zeit vollständig grün und unverändert bleiben. Diese schmale querliegende Zone, die sich scharf von dem nichtverfärbten Sproßgewebe abhebt, befindet sich am Grunde des Blatteils, dort, wo dieser in den der Achse sich anschmiegenden Scheidenteil übergeht, gehört aber noch gänzlich dem Blatteile an. Hier ruft das Eisensalz eine starke Bräunung der Membranen in Rippe und Spreite, auch in den an dieser Stelle noch niedrigen Lamellen hervor; der Scheidenteil selbst erscheint hyalin (Taf. IX, Fig. 4). Wenn wir Polytrichum in 0,25 %ige Kaliumkarbonatlösung bringen, die in gleicher Weise wie das Leitungswasser, nur viel schneller, die Membranverfärbung hervorruft, so können wir schön beobachten, daß die Bräunung der Blätter zuerst in der eben beschriebenen Zone einsetzt. Die gleichen Zellen sind es auch, deren Membranen das in sehr stark verdünnter wässeriger Lösung gebotene Methylenblau besonders begierig aufnehmen. Diese Zone bezeichnet gerade diejenige Stelle des Blattes, an der das Schwellgewebe liegt, jenes Gewebe, das durch die Flächenvergrößerung seiner Zellen die eigentümlichen hygroskopischen Bewegungen des Blattes herbeiführt[3]); die Fähigkeit hierzu beruht, wie

---

1) Czapek, Biochemie der Pflanzen, Bd. II, pag. 577.
2) Strasburger, Botan. Praktikum, 4. Aufl., pag. 162.
3) Stoltz, Zur Biologie der Laubmoose. Flora 1902, Bd. XC, pag. 305.

aus den Ausführungen von Lorch[1]) hervorgeht, in erster Linie auf der Beschaffenheit der Zellmembranen in dieser Blattpartie. Der Aufbau der Membranen ist offenbar ein anderer als der bei den übrigen Zellen. Die Prüfung auf Zellulose und Sphagnol ergab jedoch keinen Unterschied. Wir dürfen daher, gerade im Hinblick auf die Quellungsfähigkeit, wohl annehmen, daß die in Rede stehenden Membranen keine verschiedene chemische Zusammensetzung, jedoch eine abweichende physikalische Struktur besitzen, die sie befähigt, das Reagens viel rascher als die übrigen Zellwände in sich aufzunehmen.

Daß im Polytrichum-Blatt zwischen den einzelnen Zellen Verschiedenheiten im Aufbau der Membranen bestehen, auf diese Tatsache hat kürzlich Lorch[2]) hingewiesen. Derartige Unterschiede treten gerade bei der Ausführung der Reaktionen hervor. Am auffallendsten ist wohl das eben geschilderte Verhalten der basalen Zellen des Blattteils. Aber auch die Membran der Blattzähne, auf die gerade Lorch aufmerksam macht und auf deren abweichendes optisches Verhalten er hinweist[3]), hat ihre Besonderheiten: An Polytrichum-Blättern, die eine halbe Stunde in destilliertem Wasser gekocht worden waren und dann mit Osmiumsäure behandelt wurden, waren die Zellwände im allgemeinen schmutziglila, die der Randzähne jedoch tiefviolett gefärbt. Legt man Blätter in Cyanin, so nehmen die Wände tiefblaue Farbe an, die Randzähne hingegen bleiben ungefärbt. In wässeriger Eisenchloridlösung zeigen die Membranen der Zähne wie auch die der austretenden Spitze (Granne) der Reaktion sich leichter zugänglich als die übrigen Zellwände (von der Schwellgewebezone abgesehen). Auch der violette Schimmer, der in den Verdickungen der Lamellenendzellen bei Chlorzinkjodreaktion (ohne Vorbehandlung des Blattes!) sichtbar wird und den anderen Wänden fehlt, ist hier anzuführen.

Es erübrigt noch einen Blick auf den Ausfall der Reaktionen bei jungen, nicht ausgewachsenen Blättern zu werfen: Die Gerbstoffreaktion tritt erst ein, wenn die Zellen ein bestimmtes Alter erreicht haben; sie ist daher an den jungen, den Vegetationspunkt umhüllenden Blättchen

---

1) Lorch, Der feinere Bau und die Wirkungsweise des Schwellgewebes bei den Blättern der Polytrichaceen. Flora 1910, Bd. CI, pag. 373.

2) Lorch, Über eine eigenartige Form sklerenchymatischer Zellen in den Stereomen von Polytrichum commune. Ber. Deutsch. bot. Gesellsch. 1911, Bd. XXIX, pag. 590.

3) Flora, Bd. CI, pag. 381.

nur in den ausgewachsenen bzw. älteren Partien zu finden, also in deren apikalem Teile, besonders in der austretenden Blattrippe und den Zähnen (Taf. IX, Fig. 5); die Reaktion erfolgt auch langsamer und ist weniger stark als beim ausgewachsenen Blatt. Die basale Blatteilzone, die an den älteren Blättern in so auffallender Weise die Reaktion zeigt, wird erst, was ja bei dem interkalaren Wachstum des Moosblattes ohne weiteres einleuchtet, verhältnismäßig spät fertig gestellt und tritt daher an jüngeren Blättern nicht hervor. In den jüngsten Blättchen ist überhaupt keine Gerbstoffreaktion wahrzunehmen. Ganz ähnlich verhält es sich mit den Reaktionen auf Sphagnol. Beide Substanzen werden also erst mit zunehmendem Alter in die Membranen eingelagert, wobei jedoch die Beobachtung zu machen ist, daß wiederum die Wände der Randzähne und der Zellen des Blattrandes überhaupt sowie die der in der Mediane der Rippe gelegenen Zellen gegenüber den anderen Zellmembranen bevorzugt sind und in ihnen die Reaktion stärker hervortritt als in den Membranen der anderen gleichalterigen Zellen. Man könnte nunmehr erwarten, daß die jüngsten Blätter, die noch keine Gerbstoff- und Sphagnolreaktion ergeben, direkte Zellulosereaktion aufweisen; dem ist aber nicht so und infolgedessen ist anzunehmen, daß schon in ihnen keine reine Zellulose vorhanden ist.

Durch die Veränderung der Außenbedingungen, die Polytrichum commune an und für sich schon durch das Untertauchen, dann aber noch durch den Zusatz der verschiedenen Substanzen erfährt, wird auch die Form des Blattes betroffen: es ergeben sich hierbei zwei Extremformen von Blättern, von denen die eine, schmal und spitz zulaufend, der Normalform des Polytrichum commune-Blattes sehr nahe steht, die andere aber von der Normalform durch Rückbildung von Rippe und Lamellen und dafür breitere Ausbildung der Spreite abweicht. An diesen „Wasserblättern“ ist vor allem bei Anwendung von wässeriger Eisenchloridlösung das Fehlen jener basalen, die Reaktion am ersten und stärksten zeigenden Zone des Blatteils zu konstatieren; die Ausbildung des Schwellgewebes unterbleibt nämlich schon bei Blättern, die in einer wasserdampfsatten Atmosphäre gewachsen sind[1]). Im übrigen stimmen sie mit den Landblättern überein, nur daß bei breiterer Ausbildung der Spreite die Reaktion in dieser nicht sonderlich hervortritt wegen der Dünne der Wände der nur in einer Schicht liegenden Zellen. In den jüngeren „Wasserblättchen“ finden wir die Reaktion auf Gerbstoff ebenfalls nur in den Zellen der Blattspitze, von wo sie

1) Lorch, Abhandl. Bayr. Akad. Wiss., l. c. pag. 582.

sich nach unten ausbreitet und auch hier wiederum in den Zähnen des Blattrandes besonders deutlich.

Die Ursache der Zellwandbräunung.

Wir haben Zellulose, Pektin, Fett, Sphagnol und Gerbstoff als die die Zellmembranen der Polytrichaceen-Blätter aufbauenden Substanzen kennen gelernt; es fragt sich nunmehr, welche von ihnen bei dem oben geschilderten Vorgange der Verfärbung der Zellwand im Leitungswasser ausschlaggebend ist.

Es kann dies nur der Gerbstoff sein, denn von den Gerbstoffen wissen wir, daß sie in alkalischer Lösung durch Oxydation eine braunrote Farbe annehmen [1]).

Unser Leitungswasser zeigt im frischen Zustande keine alkalische Reaktion, bekommt diese aber bekanntlich dadurch, daß es bei längerem Stehen Kohlendioxyd verliert und infolgedessen die in ihm enthaltenen sauren primären Karbonate sich in die basisch reagierenden sekundären umwandeln. Deshalb sehen wir die Bräunung der Polytrichum-Blätter auch nicht sofort, sondern erst nach einiger Zeit eintreten. Daß durch die Assimilationstätigkeit der untergetauchten Pflanzen (Verbrauch von CO_2) die Alkalisierung erheblich beschleunigt wird, zeigt sich schon, wenn wir den Zeitpunkt des Eintrittes der alkalischen Reaktion bei Leitungswasser, in dem Pflanzen untergetaucht sind, und bei solchem ohne Pflanzen feststellen. Außerdem wird durch die Assimilation Sauerstoff frei, der sofort auf den Gerbstoff der Wände einwirken kann, wodurch ebenfalls der Prozeß der Bräunung stark gefördert wird. Dementsprechend tritt auch bei Versuchen im Dunkeln, wo die Assimilation ruht, die Verfärbung der Blätter bedeutend später ein. — Auf den Gerbstoff, als den Träger der Membranverfärbung weist auch das Verhalten der im Leitungswasser an Gipfel- wie Seitentrieben neu gebildeten Blätter hin: Diese sind zunächst rein grün; mit zunehmendem Alter werden aber auch sie von der Verfärbung ergriffen. Die Bräunung befällt zuerst den obersten Teil der Rippe, die austretende Granne und die apikalen Zähne, geht von da nach unten, besonders in den Zähnen des Blattrandes und in der Rippe hervortretend und greift schließlich auch auf Spreite und Scheide über: sie breitet sich also genau in der Reihenfolge aus, in der wir vorhin bei den „Wasser"blättern die Einlagerung des Gerbstoffes in die Membranen verfolgen konnten. So zeigen schließlich im

1) Czapek, Biochemie der Pflanzen, Bd. II, pag. 577.

Leitungswasser auch die neugebildeten Blätter braun gefärbte Wände, nur mit dem Unterschiede, daß diese Farbe bei ihnen nicht so stark wie bei den Landblättern hervortritt, da infolge der zarten Ausbildung ihrer Wände der Zellinhalt mit seinen grünen Chloroplasten beim Gesamtkolorit des Blattes mehr zur Geltung kommt.

Wenn die Oxydation des Gerbstoffes und damit die Bräunung der Blätter im Leitungswasser mit dessen alkalischer Reaktion in Zusammenhang steht, so muß diese Erscheinung überall dort eintreten, wo Polytrichum in alkalische Lösungen untergetaucht wird, also in Lösungen von a natura stark basischen Salzen oder von neutralen Salzen, die in wässeriger Lösung (2,5 : 1000) alkalisch reagieren; hingegen muß das Moos die natürliche grüne Farbe seiner Blätter beibehalten in neutral und sauer reagierenden Flüssigkeiten, wie in destilliertem Wasser und den Lösungen neutral oder sauer reagierender Salze. Dies trifft auch in der Tat zu: Polytrichum (und auch Catharinaea) behält sein normales Aussehen bei in destilliertem Wasser, in schwach angesäuertem Leitungswasser, in den Lösungen von Sulfaten (so Kalium-, Magnesium-, Ammonium- und Aluminiumsulfat), von Chloriden (z. B. von Kalium-, Magnesium- und Ammoniumchlorid, sowie Zinkchlorid, letzteres in der Konzentration 0,5 : 1000 gereicht) und von Monokaliumphosphat. Die Bräunung tritt außer im Leitungswasser auf in destilliertem, aber durch Kaliumhydroxyd oder Ammoniakzusatz schwach alkalisch gemachten Wasser, in den Lösungen der Karbonate, z. B. von Ammonium- und Kaliumkarbonat, von Di- und Trikaliumphosphat. Je stärker die alkalische Reaktion der Lösung, desto rascher erfolgt die Bräunung der Blätter. Eine Ausnahme scheinen die Nitrate zu machen: Es tritt nämlich in den 0,25 %igen Lösungen von Kaliumnitrat wie von Kalziumnitrat die Bräunung der Blätter, wenn auch langsam, ein, wiewohl die Lösungen genannter Salze neutrale Reaktion aufweisen. Dies ist wohl damit zu erklären, daß die Pflanze das Salpetersäureion aufnimmt und verbraucht, so daß dann das alkalische Kalium- bzw. Kalziumion momentan überwiegt und auf den Gerbstoff der Membranen bei Gegenwart von Sauerstoff seine bräunende Wirkung ausüben kann. Ein nur „momentanes“ Überwiegen der alkalischen Ionen ist deshalb anzunehmen, weil mit Phenolphtaleïn keine alkalische Reaktion der Lösung zu finden war; man muß sich daher vorstellen, daß das durch Aufnahme des Säureions im Überschuß befindliche Alkaliion stets vom Gerbstoff gebunden und so die neutrale Reaktion wieder hergestellt wird. In Ammoniumnitratlösung bleibt Polytrichum vollständig unverfärbt; die Lösung selbst reagiert sauer.

Die Erscheinung der Farbenänderung der Polytricha in alkalischen Flüssigkeiten stellt eine Parallelerscheinung zu dem bei Sphagnum rubellum von Paul[1]) beobachteten Farbenwechsel dar, das in Alkalien seinen roten Farbstoff in einen blauen verwandeit. Auch hier handelt es sich nach Katic[2]) um gerbstoffartige, in der Zellmembran enthaltene Farbstoffe[3]). Während aber bei Sphagnum die Verfärbung den Tod der Pflanze anzeigt, läßt sich bei Polytrichum daraus noch kein Schluß auf Leben und Tod der Zellen tun, was ja schon daraus hervorgeht, daß derartige Blätter noch die Fähigkeit der Bildung von Protonema und von Adventivtrieben haben, was nicht nur im Leitungswasser, sondern auch in Versuchen mit anderen alkalisch reagierenden Flüssigkeiten der Fall war.

Saure Reaktion der Polytricha: Anhangsweise sei erwähnt, daß die Polytricha, wenigstens die von mir untersuchten Arten commune, formosum und strictum gleich den Sphagnen sauer reagieren und ihnen fest angedrücktes blaues Lackmuspapier röten. Diese Säure kann auch zur Neutralisierung geringerer Mengen Alkali dienen; wenn man z. B. Polytrichum commune in 0,25 %iger, durch Zugabe von KOH schwach alkalisierte Kaliumnitratlösung versenkt, so ist schon nach etwa 12 Stunden die alkalische Reaktion verschwunden, ohne daß der Gerbstoff der Membranen sich verfärbt hat; die Kontrollösung ohne Pflanzen behält ihre Reaktion bei. Ein ähnlicher Versuch zeigte, daß der Säuregehalt der einzelnen Arten verschieden stark ist. Ein Liter durch Zusatz von Kalilauge ziemlich stark alkalisch gemachtes destilliertes Wasser wurde in gleichen Mengen in drei je einen Liter fassende Zylindergläser verteilt, und diese dann mit destilliertem Wasser voll gefüllt; die Flüssigkeit zeigte auch in ihrer nunmehrigen Verdünnung noch starke Reaktion mit Phenolphtaleïn. In dem einen Glas wurde Polytrichum strictum,

---

1) Paul, Die Kalkfeindlichkeit der Sphagna und ihre Ursache, nebst einem Anhang über die Aufnahmefähigkei der Torfmoose für Wasser. Mitteil. der K. bayer. Moorkulturanstalt, Heft 2, 1908.

2) Katic, Beitrag zur Kenntnis der Bildung des roten Farbstoffes (Anthocyan) in den vegetativen Organen der Phanerogamen. Dissert. Halle a. S. 1905.

3) Nach Jönsson (Recherches sur la respiration et l'assimilation chez les Mousses, Compt. rend. des séances Acad. Paris, Tome CXIX) liegen der Braun- bis Braunrotfärbung, die manche Moose an sonnigen Standorten annehmen, ebenfalls Membranfarbstoffe zugrunde; dies ist jedoch nicht allgemein zutreffend. So fand ich bei Bryum pallens einen im Zellsafte gelösten himbeerroten Farbstoff, der zusammen mit den Chlorophyllkörpern den Blättern ihre tief braunrote Farbe verleiht.

im zweiten Polytrichum formosum versenkt. Während die im dritten Glase enthaltene Flüssigkeit, die keine Pflanze enthielt, die Reaktion unverändert beibehielt, war im Glase mit Polytrichum strictum schon nach 24 Stunden die alkalische Reaktion verschwunden; Polytrichum formosum hingegen brauchte zum Neutralisieren der Lösung 4 Tage. Daraus ergibt sich, daß das hochmoorbewohnende Polytrichum strictum bedeutend saurer ist als das waldbewohnende formosum.

Allgemeines Verhalten gegen Alkalien und Säuren: Gleich den Sphagnen erweisen sich auch die Polytricha gegen Alkalien sehr empfindlich. Alkalische Lösungen wirken je nach dem Grad ihrer Alkaleszenz mehr oder minder giftig, während der Schädlichkeitsgrad saurer Lösungen ein viel geringerer ist. Diese Tatsache erinnert an die von Paul bei seinen Untersuchungen über die Torfmoose erhaltenen Resultate. Wenn die alkalische Reaktion eine gewisse Grenze überschreitet, wie z. B. in den Lösungen von Trikaliumphosphat, Kaliumkarbonat, Ammoniumkarbonat oder bei Zusatz von zuviel Kaliumhydroxyd oder Ammoniak zu destilliertem Wasser, so tritt außer der Bräunung der Wände auch eine intensive Schädigung des lebenden Zellinhaltes ein, die zum Tode der Pflanze führt[1]). Das gleiche ist auch der Fall bei einer anfangs nicht schädlich wirkenden, alkalisch reagierenden Flüssigkeit, wenn die Pflanze allzulange in ihr verweilt, so z. B. in Leitungswasser nach einigen Monaten. Die Absterbeerscheinungen stimmen mit den eingangs geschilderten überein (Granulation und Zerfall der Chlorophyllkörper, Auftreten öliger und kupferroter Tröpfchen, Farbloswerden des übrigen Zellinhaltes); die abgestorbenen Teile erscheinen dunkel- bis schwarzbraun gefärbt.

Sauer reagierenden Lösungen gegenüber zeigen sich die Polytricha viel unempfindlicher als gegen die Alkalien; keine einzige von ihnen rief eine so rasche und schwere Schädigung hervor, wie sie bei gleicher Konzentration bei den vorhin erwähnten alkalischen Salzen zu beobachten ist.

Versuche über die Widerstandsfähigkeit von Laubmoosen gegen Säuren sind meines Wissens nur mit Sphagnen gemacht worden[2]); deshalb möchte ich meine mit Polytrichum gemachten Versuche hier kurz anführen, obwohl sie nur Vorversuche darstellen und stark lücken-

---

1) Durch Zusatz von Kaliumchlorid zur Trikaliumphosphatlösung (1 g jedes Salzes : 1000 ccm H_2O) läßt sich die tödliche Wirkung des letzteren Salzes verzögern, da durch das sauer reagierende Chlorid die Alkaleszenz abgeschwächt wird.

2) Vergleiche Paul, l. c. pag. 79.

haft sind. Verwendet wurde 98 % ige Schwefelsäure. Bei 1 ccm dieser Säure im Liter destilliertem Wasser zeigte Polytrichum commune alsbald intensive Schädigung und innerhalb eines Tages schon waren die Pflanzen abgestorben. Auch $^5/_{10}$ ccm wirkten schädlich und erst bei ca. $^4/_{10}$ ccm im Liter blieben die Blätter frisch grün, doch waren auch dann noch keinerlei Wachstumserscheinungen an den Pflanzen zu beobachten; die Gipfelregion war bei ihnen erkrankt und fiel samt den umgebenden Blättern bei Berührung ab [1]). Polytrichum strictum erwies sich gegen die Säure als viel resistenter: Bei 1 ccm Säure im Liter H_2O trat die Schädigung 12 Stunden später hervor als bei commune, bei $^5/_{10}$ ccm war sogar Gipfelwachstum und Austreiben von Seitensprossen festzustellen. Diese größere Widerstandsfähigkeit entspricht der Anpassung der Pflanze an ihren Standort: Polytrichum strictum, im Hochmoor in Gesellschaft der sauren Torfmoose wachsend, ist an viel mehr Säure angepaßt als das vorzüglich in Wäldern wachsende und nur ab und zu weiter ins Hochmoor vordringende Polytrichum commune.

Tritt eine Schädigung der Polytricha durch Säuren ein, also z. B., wie wir eben gesehen, bei Zusatz von Säuren zu Aqua destillata oder in den Lösungen sauer reagierender giftiger Salze wie 0,03 % iger Zinksulfatlösung usw., so ist das Aussehen der Pflanzen völlig abweichend von dem der an zuviel Alkali leidenden. Säuren üben im Gegensatz zu den dunkel färbenden Alkalien eine bleichende Wirkung aus: Die Zellwände bleiben vollständig hyalin, die Chloroplasten, anfangs noch grün oder schmutzig-(bräunlich-)grün, erscheinen stark granuliert, bleiben aber oft noch lange als eigene Körper erhalten oder sie zerfließen auch hier in eine gemeinsame granulierte Masse. Sie verlieren dann ihre Farbe und nehmen eine schmutzig-gelbgrüne bis fahlgelbe Färbung an, schließlich werden sie ganz farblos. Auch die lichtbrechenden Tröpfchen und die kupferroten Gebilde sind zu beobachten. Die ganze Pflanze erscheint gebleicht, die Blätter zeigen ein schmutziges helles Gelbgrün als Farbe, das von dem entfärbten Zellinhalt und nicht von den Zellwänden herrührt.

In der freien Natur finden wir die abgestorbenen Blätter und Sproßteile meist mehr oder minder stark gebräunt; sie schwanken zwischen einem hellen Gelbbraun, fast Ockergelb, bis zu Dunkel- und Schwarzbraun. Dementsprechend erscheinen ihre Zellwände fast noch hyalin oder sie zeigen alle möglichen Tönungen von Ocker- bis Dunkel-

1) Näheres über diesen Vorgang im II. Teil dieser Arbeit.

braun. Der Grad ihrer Bräunung hängt ab von der Menge Alkali, mit der die absterbenden Blätter in Berührung kamen. Im allgemeinen tritt im Freien stets Bräunung ein, da von den auftretenden Fäulnisbakterien, wie bekannt, Ammoniak abgeschieden wird.

Zusammenfassung der Resultate.

1. Bei Einwirkung alkalisch reagierender Flüssigkeiten tritt bei den Polytrichaceen eine intensive Bräunung der Blätter ein; sie beruht auf der Verfärbung des in den Zellmembranen vorhandenen Gerbstoffes durch Oxydation[1]). Mit diesem Vorgange braucht keine Schädigung der Zelle selbst verbunden zu sein, wie aus deren normalem Inhalt, dem Eintritt der Plasmolyse und der Fähigkeit der gebräunten Blätter, Adventivtriebe zu bilden, hervorgeht.

2. Die Polytrichaceen sind im allgemeinen jedoch sehr empfindlich gegen Alkalien; zu starke alkalische Reaktion der Lösung führt zum Tode der Pflanzen.

3. Sauer reagierende Lösungen erweisen sich zumeist als viel weniger schädlich; infolge von Säurewirkung abgestorbene Polytricha zeigen fahlgelbes Aussehen.

4. Die Polytricha zeigen gleich den Sphagnen eine saure Reaktion.

---

1) Da auch Dicranum ähnlich wie Polytrichum im Leitungswasser die Verfärbung zeigte, dürfte vielleicht dieser Satz auf alle Laubmoose, soweit sie Gerbstoffe in der Membran enthalten, auszudehnen sein.

Figurenerklärung zu Tafel IX.

Polytrichum commune.

Fig. 1. Die Pflanze war 62 Tage (Oktober bis Dezember) in 1 %iger Ammoniumnitratlösung untergetaucht: Bei der supraoptimalen Konzentration der Lösung ist der Sproßgipfel abgefallen und die Pflanze zeigt keinerlei Wachstumserscheinungen. Die Blätter sind sämtliche grün geblieben. Daraufhin wurde die Pflanze in Leitungswasser untergetaucht: Hier tritt zunächst die Verfärbung der Blätter ein, die eine schwarzbraune Farbe annehmen. Auf den apikalen Blättern erfolgt eine üppige Entwicklung blattbürtiger Adventivtriebe, die, zartgrün, in lebhaftem Kontrast zur dunklen Farbe der ganzen Mutterpflanze stehen. Später treiben noch ruhende Astanlagen im Basalteil wie auch im Laubblatteil des Sprosses

zu Innovationstrieben aus, die wiederum basal zwei- bis dreimal verästelt sind; auch sie sind grün gefärbt. *I* Innovationssprosse.

Fig. 2. Ein apikales Blatt dieser Pflanze mit Adventivtrieben. Adventivtriebe hellgrün, Blatt schwarzbraun, Scheidenteil des Blattes graubräunlich.

Fig. 3. Oberer Teil einer in Leitungswasser untergetauchten Pflanze. Die „Land"-blätter werden schwarzbraun, die Pflanze wächst am Gipfel fort unter Bildung zunächst frisch grüner „Wasser"blätter, die mit zunehmendem Alter sich ebenfalls bräunen. Die Bräunung beginnt an der Blattspitze, dem ältesten Teil des Blattes.

Fig. 4. Normales Blatt in wässeriger Eisenchloridlösung. Die Gerbstoffreaktion tritt in einer bestimmten Zone an der Basis des Blatteils äußerst intensiv ein; diese Zone (*s*) hebt sich, tiefschwarz geworden, von dem übrigen grüngebliebenen Teil des Blattes und dem hellgrauen Scheidenteil ab.

Fig. 5. Junges Blatt, dem Sproßgipfel entnommen, obere Hälfte. Reaktion auf Gerbstoff mit ätherischer Eisenchloridlösung: Bräunung der Blattspitze sowie der Randzähne im oberen Teil des Blattes.

Nachtrag.

Leider habe ich die Arbeit Karl Müller's, Beiträge zur Chemie niederer Pflanzen (Dissert. Freiburg i. Br. 1905), die sich ebenfalls mit der Zusammensetzung der Zellmembran der Laubmoose beschäftigt, erst nach Drucklegung der vorliegenden Arbeit kennen gelernt und deshalb nicht mehr auf ihre Resultate eingehen können.



Fig. 1.



Fig. 2.



Fig. 3.

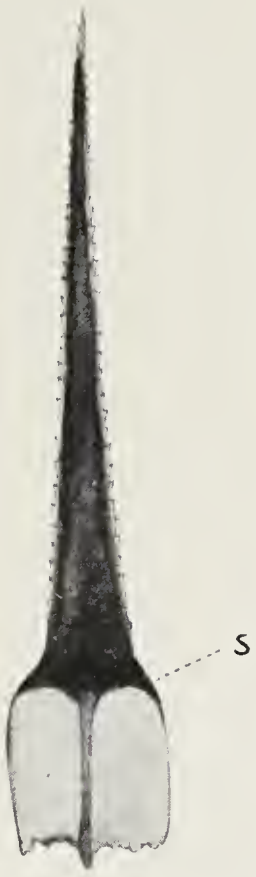


Fig. 4.



Fig. 5.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Flora oder Allgemeine Botanische Zeitung

Jahr/Year: 1913

Band/Volume: 105

Autor(en)/Author(s): Schoenau Karl von

Artikel/Article: Laubmoosstudien 246-264