

Die Ausstreuung der Moossporen und die Zweckmäßigkeit im Naturgeschehen.

Von

R. TIMM.

Erweiterte Ausarbeitung
eines am 13. Januar 1909 im Naturw. Verein in Hamburg
gehaltenen Vortrages.

(Mit 23 Abbildungen.)

I. Abschnitt.

Über die Ausstreuung der Moossporen, ihre Abhängigkeit vom Bau der Kapsel und ihre biologische Bedeutung hat bereits seit HEDWIG (1787) eine Reihe von Autoren gearbeitet. Die meisten ihrer Arbeiten beschäftigen sich mit einzelnen besonders interessanten Vorgängen auf diesem Gebiete, oder sie behandeln besondere Moosfamilien oder einzelne Teile der Mooskapsel. Darum ist es in hohem Grade dankenswert, daß 1904 in Lausanne eine Arbeit von ALBERT PFAEHLER erschien, in der das ganze Gebiet der Laubmoose bezüglich ihrer Sporenausstreuung behandelt wurde und zwar, indem die bereits durch die Litteratur bekannten Tatsachen mit einem reichen Material neuer Beobachtungen zu einem Gesamtbilde vereinigt wurden. Durch diese Arbeit sind wir daher in den Stand gesetzt, das bisher gesammelte Material vergleichend zu betrachten und namentlich die in den Einzelfällen so oft behaupteten »Zweckmäßigkeiten« gegen einander abzuwägen. Das soll auch der Zweck dieser kleinen Abhandlung sein; neue Beobachtungen habe ich nicht mitzuteilen, sondern ich kann mich hinsichtlich des tatsächlichen Materials im Wesentlichen an die ausführliche PFAEHLER'sche Darstellung halten.

Bekanntlich besteht das Sporogonium der Laubmoose im allgemeinen aus Stiel und Kapsel; bei den vollkommeren Moosen

läßt die letztere 3 Hauptteile: Hals, Urne und Deckel erkennen. Als Verschußstück zwischen dem Deckel und der Urne dient in der Mehrzahl der Fälle ein Ring. Innerhalb desselben schließt sich eng an die Kapselwand der Mundbesatz, der einfach oder doppelt sein kann. Der einfache oder der äußere Mundbesatz besteht aus 2^2 bis 2^6 Zähnen; der innere Mundbesatz hat gleich viel oder halb so viel Zähne als der äußere; zwischen ihnen befinden sich aber oft je 3 bis 4 fadenförmige Fortsätze, die sogenannten Wimpern. In der Längsachse der Kapsel befindet sich die Spindel oder Columella, die das Halsgewebe mit dem Deckelgewebe verbindet und sich von letzterem bei der Reife trennt oder (in der Minderzahl der Fälle) eine Zeit lang mit ihm in Verbindung bleibt. An die Spindel schließt sich ein zylindrischer Mantel, das Sporengewebe, das auf Kosten des umgebenden Ernährungsgewebes heranwächst, so daß mit der Reife der Raum zwischen Spindel und Kapselwand vom Sporensack ausgefüllt wird. Das in der unreifen Kapsel grüne Ernährungsgewebe steht mit der Außenwelt meist durch Spaltöffnungen in der Kapselwand in Verbindung, die denen der Phanerogamen ganz ähnlich sind und durch ihren besonderen Bau sich oft vorzüglich für die systematische Einteilung der Arten innerhalb der Gattung eignen.

Alle Hauptteile des Sporogoniums können sich in irgend einer Weise an der Ausstreuung der Sporen beteiligen. Wir beginnen mit dem Fruchtsiel oder der Seta. Dieser Stiel ist — was ja bei der ungeheuren Mannigfaltigkeit der Existenzbedingungen sich von selbst versteht — bald kurz, bald lang, bald dick, bald dünn, bald im Querschnitt rund, bald mehr elliptisch, bald in den verschiedenen Radien des Querschnittes ziemlich gleichmäßig, bald ungleichmäßig hygroskopisch. Jedes von diesen Merkmalen beeinflußt natürlich die Sporenausstreuung entweder überhaupt nicht oder immer wieder in anderer Weise, jedesmal ist dann auch von verschiedenen Autoren ein »Zweck« konstruiert worden. Ist der Stiel kurz, so ist er der Einwirkung des Windes möglichst wenig unterworfen; nur durch herum-

kriechende Insekten oder durch Regentropfen werden kurze Erschütterungen hervorgerufen werden, durch die kein besonders weites Verschleudern der Sporen bewirkt werden kann. Diese »Einrichtung«, die als solche eigentlich kaum anzusehen ist, soll vor allen Dingen solchen Moosen von Nutzen sein, die an Baumstämmen oder senkrechten Wänden wachsen. Diese Betrachtung ist gewonnen worden von Gattungen wie *Grimmia*, *Rhacomitrium*, *Orthotrichum*, die an Steinen, Felswänden und Bäumen wachsen. In der Tat ist es für diese Moose vorteilhaft, daß ihre Sporen nicht auf die Erde fallen. Ich habe noch nie eins dieser Moose auf dem Erdboden wachsend gefunden, auch noch nicht von einem derartigen Vorkommen gehört. Daraus scheint hervorzugehen, daß der Erdboden keine geeignete Unterlage für jene Moose ist; es ist also für sie nützlich, daß ihre Sporen nicht zu weit weggetragen werden, vielmehr auf dem Stein oder Stamm liegen bleiben. Indessen macht schon PFAEHLER darauf aufmerksam, daß es an senkrechten Mauern auch Arten mit ziemlich langen Fruchtstielen gibt, (z. B. *Tortula muralis*, *Crossidium*), die mithin im Punkte der Sporenverbreitung durch den etwa anfassenden Wind zu ungebührlicher Verschwendung angeleitet werden.



Fig. 1.
Physcomitrium sphaericum.
Vergr. 12.

Andererseits gibt es auf horizontalem Erdboden Moose mit allen möglichen Stiel-längen, ich erinnere nur an *Pleuridium*, *Pottia*, *Ceratodon*, *Ditrichum* bis hinauf zu *Dicranum*, *Meesea* und *Splachnum*. Auch innerhalb derselben Gattung kommen trotz der Ähnlichkeit des Substrates große Differenzen vor, so ist *Physcomitrium sphaericum* (Fig. 1) bis zum Deckel nur einige mm hoch, *Ph. pyriforme* dagegen ein relativ stattliches Moos; *Funaria* (*Entosthodon*) *fascicularis* hat höchstens mittlere Höhe, dagegen streckt sich der Stiel der bekannten *F. hygrometrica* bis zur Länge von etwa 5 cm (Fig. 2). Dabe¹ kann man

die beiden *Physcomitrien*, ebenso die beiden *Funarien* unmittelbar neben einander finden. Andererseits wird das Fehlen des Kapselstiels bei *Fontinalis* damit »erklärt«, daß hier eine Seta nicht nötig sei, weil die Verbreitung durch das Wasser stattfinde, in das die Sporen hineinfallen; eine »Erklärung«, die wenig plausibel erscheint für das bei uns so häufige Vorkommen von *Fontinalis* in isolierten Wasserlöchern.

Indessen verfolgen wir einstweilen die »zweckmäßigen« Einrichtungen des Stieles noch weiter. Ein hoch hervorragender Stiel trägt ja unter allen Umständen zu einer ergiebigen Verbreitung der Art bei, indem er den Aktionsradius der Sporenausstreuerung vergrößert. So finden wir Seten von beträchtlicher Länge bei den oft große Flächen bedeckenden *Polytrichum*-Arten, namentlich aber auch bei vielen Sumpf- und Wassermoosen, z. B. den Arten der Gattungen *Meesea* und *Drepanocladus*, deren Seten oft eine erstaunliche Länge erreichen. Indessen bleiben die Pseudopodien der Torfmooskapseln kurz, sofern sie nicht durch ihren Ursprung unter Wasser gezwungen sind, in die Länge zu wachsen (z. B. bei *Sphagnum cuspidatum*, *recurvum*, *rufescens*), eine Erscheinung, die wohl am einfachsten sich wirklich kausal durch den Lichtmangel unter Wasser erklärt, mithin als eine Art Vergeilung anzusehen wäre. Eine besondere Be-



Fig. 2.

Funaria hygrometrica.
Habitusbild und Haube.
Vergr. 8.

Aus LIMPRICHT's Werk:
Die Laubmoose Deutschlands,
Österreichs und der Schweiz.

deutung gewinnt die Länge der Seta in der auf tierischen Kadavern oder auf Exkrementen wachsenden Familie der Flaschenmoose

oder *Splachnaceen*. Dank den Untersuchungen BRYHNS weiß man, daß diese Moose in dem prächtig gefärbten Halsteil oder der Apophyse, die bei manchen hochnordischen *Splachnum*-Arten schirmförmig ausgebreitet ist, einen Schauapparat besitzen, der an Wirksamkeit den prächtig gefärbten Blumenkronen der Phanerogamen wenig nachsteht. (Fig. 3.) Schon in unseren Breiten gewährt ein mit fruchtendem *Splachnum ampullaceum* besetzter Kuhfladen einen herrlichen Anblick. Die im nördlichsten Norwegen und Schweden gruppenweise auf Renntiermist wachsenden Arten *Splachnum luteum* und *rubrum* werden hinsichtlich ihrer Farbenpracht und Massenvirkung direkt mit den leuchtend gefärbten Polstern der Hochgebirgsblumen verglichen. Wir werden später noch zu erörtern haben, daß auf diese Weise Fliegen angelockt werden, die die Sporen verbreiten. Es leuchtet ein, daß der »Erfolg« um so mehr gesichert ist, je höher die Seten sind. Man hat auch bestimmte Beziehungen zu finden geglaubt zwischen der Stärke der Seten und dem Gewicht der sporenübertragenden Insekten. Die dünnstieligen *Splachnum*-Arten werden von verhältnismäßig leichten Dungfliegen besucht, während die Sporen des dickstieligen *Tetraplodon mnioides* durch die kräftigeren Schmeißfliegen verbreitet werden. Indessen darf an dieser Stelle nicht verschwiegen werden, daß schon bei *T. mnioides* die Länge der Seta variiert (nach LIMPRICHT 1—3 cm), während sie bei dem mit ihm vergesellschafteten *T. angustatus* so kurz ist, daß die Kapsel wenig über die Spitzen der Hüllblätter hervorragt. Ähnlich ist es mit dem im Hochgebirge einheimischen *T. urceolatus*.



Fig. 3.
Splachnum
luteum.
Nat. Gr.

hervorragt. Ähnlich ist es mit dem im Hochgebirge einheimischen *T. urceolatus*.

Wir kommen nun zu der Wasserempfindlichkeit der Seta. Begreiflicher Weise ist sie nicht überall gleich. Ist sie in der großen und kleinen Achse des elliptischen Stielquerschnittes sehr verschieden, so wird die Seta beim Austrocknen bandförmig und hat dann natürlich die Neigung, sich spiralgig zu drehen, genau so wie das auch bei menschlichen Haaren mit elliptischem Querschnitt der Fall ist. Unter dem Einflusse der Feuchtigkeit — in vielen Fällen, wie PFAEHLER's sorgfältige Untersuchungen zeigen, erst unter der Einwirkung flüssigen Wassers — dreht sich der Stiel wieder nach außen. Bildet nun die Längsachse der Seta mit derjenigen der Kapsel einen Winkel, wie z. B. bei dem gemeinen Regenmoose *Funaria hygrometrica* (Fig. 2), so wird die Urnenöffnung im Kreise herumgeführt, ein Umstand, der natürlich den Bereich der Sporenausbreitung zu vergrößern imstande ist. In vielen Fällen verläuft die Drehung von der Mitte der Seta nach unten und nach oben in entgegengesetztem Sinne (Fig. 2), wodurch sich die kreisende Bewegung der Kapsel noch ausgiebiger gestalten kann. Denn wenn die Aufdrehung der Seta nicht oben und unten gleichzeitig und gleichmäßig erfolgt, so wird die Kapsel von der einen Stielhälfte in dem einen, von der andern im entgegengesetzten Sinne herumgeführt. Bei gedrängt wachsenden Moosen hat die Hygroskopizität der oft auch gebogenen und geschlängelten Seta noch eine interessante Nebenwirkung. Namentlich wenn der obere Teil mit der Kapsel herabgekrümmt ist, wie das z. B. wiederum häufig bei *Funaria hygrometrica* vorkommt, kommt es bei den oben geschilderten Drehungen leicht dazu, daß die Pflanzen an und unter einander festhaken. Geht nun die Drehung beim Wechsel der Feuchtigkeit wieder rückwärts, so leisten zunächst die in einander verschränkten Stiele Widerstand, bis die Elastizitätsgrenze überschritten ist, worauf sie mit einem Ruck aus einander fliegen, so daß die Sporen auf beträchtliche Entfernung weggeschleudert werden können.

Einwände, die gegen eine auf den geschilderten Tatbestand gegründete Zweckbetrachtung gemacht werden können, sollen im zweiten Teile dieser Arbeit berücksichtigt werden. Hier sei nur

noch darauf aufmerksam gemacht, daß manche Kapselstiele eine andere Bewegung auszuführen belieben, die sich in der vorhin angegebenen Weise nicht deuten läßt. In der Gattung *Campylopus* und bei einigen Grimmien ist der obere Teil der Seta anfangs scharf nach unten gebogen, schwanenhalsartig, wie die Bryologen sich in poetischer Weise auszudrücken pflegen; zur Zeit der Reife richtet er sich in die Höhe. Nun werden wir nachher sehen, daß außer dem Prinzip der möglichst ausgiebigen Sporenverbreitung noch das Prinzip einer verlangsamten, d. h. über einen größeren Zeitraum tätigen Sporenausstreuung von den Autoren behauptet wird. Nach diesem Prinzip würden die Moose das Glück ihrer Zukunft nicht auf eine Karte setzen, sondern die Ungunst des einen Zeitabschnittes durch die Gunst des andern ausgleichen. Darum müssen sich die Kapseln von *Campylopus* und *Grimmia pulvinata* aufrichten, damit nicht die Sporen auf einmal herausfallen. Dasselbe Prinzip hat man ja auch bei Früchten von Phanerogamen (z. B. vielen *Boragineen* und *Labiaten*) in Anspruch genommen, bei denen die Früchte mit nachträglich vergrößerten Kelchen sich zur Reifezeit aufrichten, so daß die Samen nicht auf einmal und nicht in unmittelbarer Nähe der Mutterpflanze niederfallen können. Warum sind denn aber vorher die Kapseln abwärts gebogen? Auch dafür weiß man Rat. Das geschieht, damit die so fast oder ganz ins Laub eingetauchte junge Kapsel nicht durch Trockenheit leidet, wenn auch dicht neben *Campylopus flexuosus* *Dicranella cerviculata* und dicht neben *Grimmia pulvinata* *Dicranoweisia cirrhata* und *Ceratodon purpureus* mit aufrechten, gehobenen Kapseln sich ihres Daseins erfreuen.

Wir sind so zu den beiden Begriffen der möglichst weit reichenden und der verzögerten Sporenausstreuung gekommen, und wir werden sehen, wie weit sich diese Begriffe auf die übrigen Teile des Sporogons anwenden lassen. Die geringste Rolle für unsere Betrachtung spielt in den meisten Fällen der Hals. Sein Gewebe ist in der Regel kompakter als das der Urne, und in vielen Fällen trägt er in seiner Oberhaut allein oder fast allein die Spaltöffnungen, die dem Ernährungsgewebe die Assimilation

der Kohlensäure möglich machen. Häufig schrumpft er bei der Reife stark, ein Zustand, der sich durch Längsrünzeln zu erkennen gibt, so namentlich in der Gattung *Bryum*; und er kann dadurch zur Formgestaltung und somit zur Volumveränderung der Urne und zum Hinausschieben der Sporenmasse beitragen. Von großer Bedeutung, wenn auch von indirekter, ist er dagegen bei den *Splachnaceen*, bei denen er gewaltig entwickelt auftritt und, wie schon bemerkt worden ist, als Schauapparat dient. Diese Funktion soll im Zusammenhange mit der Besprechung der Urne der Flaschenmoose noch eingehender gewürdigt werden.

Die Urne leitet durch ihre Volumveränderung beim Austrocknen die Bewegung der Sporen ein. Durch die Austrocknung wird ganz allgemein der Rauminhalt der Urne verringert, notwendiger Weise muß also ein Bruchteil der Sporenmasse über den Rand geschoben werden. Dann aber auch kann der Wechsel von Regen und Trockenheit ein Wechselspiel der Erweiterung und Verengerung des Urnenhohlraums bewirken, so daß die Sporen durch einander geschüttelt und zur Ausstreuung vorbereitet werden. Die Volumverminderung kann im ganzen Umfange der Urne oder an besonders ausgebildeten Stellen vor sich gehen. Auch die erstere Änderung läßt noch verschiedene Möglichkeiten zu. In vielen Bestimmungstabellen findet man den Gegensatz: Kapsel zur Reifezeit vor der Mündung eingeschnürt — Kapsel nicht eingeschnürt. Im letzteren Falle ist oft die Mündung weiter als die Kapsel, d. h. diese ist durch die Austrocknung mehr oder weniger trichterförmig geworden, wodurch sie an Rauminhalt verloren und einen Teil der Sporen hinausbefördert hat. Eingehend ist von PFAEHLER dies Verhalten an dem (auch bei Hamburg aufgefundenen) *Physcomitrium eurystomum* studiert worden. Hier schnürt sich der untere Teil der Urne nebst dem Hals zusammen (Fig. 4), so daß die Kapsel etwa die Gestalt einer nach oben geöffneten Glocke bekommt, über deren ein



Fig. 4.

Entleere Urne von
Physcomitrium eurystomum.
Vergr. 12.

wenig auswärts gebogenen Rand ein Teil der Sporen hinausgeschoben wird. In anderen Fällen, so bei *Pottia* und *Splachnum* (Fig. 5), behält die Urne eine annähernd cylindrische Form, wobei sie sich in der Längsrichtung verkürzt, so daß der Raum für die Sporenmasse zu klein wird. In der Regel wirkt die Urne in Gemeinschaft mit der Columella oder mit dieser und dem Deckel zusammen. Die Fälle, in denen auch noch das Peristom mit in Betracht kommt, sollen bei diesem besprochen werden.



Fig. 5.

Entleerte Kapsel von
Splachnum ampullaceum.

c Columella
h Hals (Apophyse)
m Mundbesatz s Seta
u Urne. Vergr. 5.

Ehe wir die gemeinschaftliche Arbeit der zuletzt genannten Organe erörtern, müssen wir der präformierten Stellen gedenken, an denen eine Volumverminderung oft von beträchtlicher Größe stattfinden kann. Diese Stellen können sich in der Quer- oder in der Längsrichtung oder in beiden befinden. Es ist vorhin schon erwähnt worden, daß oft, namentlich in der Gattung *Bryum*, die Urne vor ihrer Mündung bei der Reife sich einschnürt. Diese Einschnürung kann so bedeutend werden, daß die Kapsel eine kreiselförmige Gestalt erhält (*Bryum turbinatum*) und beträchtlich an Volumen verliert. Oft fehlt zwar die genannte Einschnürung, dafür biegt sich aber der Urnenrand nach innen, so daß die Öffnung enger wird.

Die präformierten Stellen in der Längsrichtung können unregelmäßig oder regelmäßig sein. Im ersteren Falle entstehen bei der Reife mehr oder weniger verworrene Furchen, so bei *Funaria hygrometrica* (Fig. 2) und den Arten der Gattung *Bartramia*. Recht regelmäßig sind die Furchen schon bei *Philonotis* und *Conostomum*, vorzüglich ausgebildet in den an Bäumen und auf Steinen wachsenden Gattungen *Orthotrichum* (Fig. 6) und *Ulota*, wobei nicht verschwiegen werden soll, daß

es hier auch Arten mit mehr oder weniger glatten Kapseln (*Orthotr. leiocarpum* ganz glatt) gibt. Diese Moosurnen, namentlich einiger *Orthotrichum*-Arten, verringern ihr Volumen beim Austrocknen um ein Bedeutendes, indem sie sich förmlich der Länge nach zusammenfallen. Dabei verengen sie sich auch noch mehr oder weniger unterhalb der Mündung (besonders *Ulota*), so daß die ganze Kapsel dadurch die Gestalt einer langen Vase erhält. Die Bildung der Furchen und der zwischen ihnen stehenden Leisten beruht auf der Beschaffenheit der Oberhautzellen, die von PFAEHLER an zahlreichen Schnitten studiert worden sind. Die Zellen auf den Leisten besitzen stark verdickte, beim Schwinden des Turgors nicht einknickende Wände. Vielmehr knicken die Innenwände ein, so daß die Außenwände vorgewölbt werden. An den Zellen der Furchen bleiben dagegen die Außenwände dünn, nur die radialen Wände sind verstärkt, so daß beim Austrocknen unter der Einwirkung des seitlichen Zuges von den sich einkrümmenden Leistenzellen her nun gerade die Außenwände einknicken. In der Gattung *Polytrichum* beruht das Hervortreten der 4 bis 6 Kanten der Urne nicht so sehr auf einer Verschiedenheit der betreffenden Oberflächenzellen als vielmehr in der verschiedenen Stärke der darunter befindlichen Lagen. Unter den Flächen ist das dünnwandige Gewebe der Kapselhaut z. B. bei *Polytrichum formosum* höchstens zweischichtig, unter den Kanten dreischichtig, und dabei sind die Zellen unter den Kanten größer. Die Außenwand der Oberflächenzellen ist ziemlich dick und zwar auf den Flächen und den Kanten ungefähr gleich stark. Die Zellen der Flächen sind allerdings oft in so fern schwächer, als sie in der Mitte der Außenwand getüpfelt sind (so bei *P. commune* und *perigoniale*).



Fig. 6.
Orthotrichum affine,
offene Kapsel, trocken.
c Cilien; e Exostom, von
dem 4 Doppelzähne
sichtbar; h Hals; u Urne.
Vergr. 25.

Da nun also die Kanten beim Austrocknen den größeren Widerstand leisten, so werden die zwischen ihnen befindlichen Flächen nach innen gedrückt, so daß die Sporenmasse in die Höhe muß.

Bei diesen verschiedenen Verringerungen des Urnenvolumens bleibt häufig als ruhender Pol in der Erscheinungen Flucht die

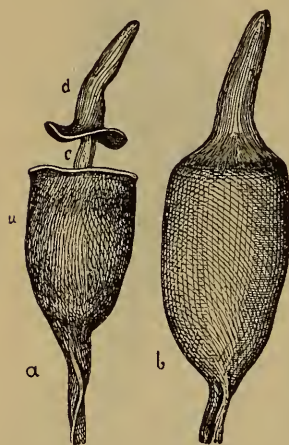


Fig. 7.

Kapsel von *Pottia Heimii*.

a trocken, b feucht.

c Columella, d Deckel,

u Urne. Vergr. 17.

Columella stehen. Bleibt auf ihr der Deckel einstweilen sitzen, wie es bei *Hymenostylium*, *Pottia Heimii* (Fig. 7), *Physcomitrium eury-stomum* (Fig. 8), *Dissodon Hornschuchii* und anderen Moosen ohne Mundbesatz oder mit mäßig entwickeltem Peristom der Fall ist, so bleibt als Ausweg für die Sporen zwischen Deckel und Urnenwand nur ein schmaler Spalt übrig; die Ausstreung wird also verlangsamt. Gleichzeitig dient der Deckel als Regenschirm, die Wasser aufsaugende Urnenwand wächst beträchtlich, wie man an einer in Wasser gelegten Kapsel von *Pottia Heimii* vorzüglich sehen kann (Fig. 7) und schließt den Spalt völlig. So regulieren

Urnenwand und Deckel den Austritt der Sporen in doppelter Weise; jede kleine Erschütterung, die durch den Wind oder spazieren gehende kleine Tiere bewirkt wird, entsendet durch den geöffneten Spalt kleine Mengen von Sporen. Der Spalt kann ringförmig sein, wie bei *Pottia* und *Hymenostylium*, so daß die Sporen ringsherum zum Entweichen gleichberechtigt sind; es kann sich auch die Columella oben nach einer Seite biegen, so daß der Deckel schief sitzt, an einer Stelle den Urnenrand berührend (*Physcomitrium eury-stomum*). (Fig. 8.) Letztere Stellung kann der Deckel auch getrennt von der Columella einnehmen, wenn eine kleine Partie seines Randes mit dem Urnenrande in Zusammenhang bleibt.



Fig. 8.

Sporenausstreung von
Physcomitrium eury-stomum.
Vergr. 12.

Bei *Splachnum rubrum* wird nach den schönen Beobachtungen BRYHN's die Regulierung gegen Witterungswechsel gemeinsam von Urnenwand, Mundbesatz und Spindel bewirkt. Der prächtige Schauapparat dieser Moose ist bereits erwähnt worden. Auf dem riesigen Reklameschild sitzt die Urne, die doch eigentlich die Hauptsache sein soll, wie ein bedauernswertes Anhängsel (Figg. 3 u. 5). Ihre Wand ist sehr hygroskopisch und verkürzt und verengt sich beim Austrocknen bedeutend, so daß sie von der Columella überragt wird. Nach BRYHN streckt sich diese noch obendrein, was indessen von PFAEHLER bestritten wird; wobei man freilich nicht vergessen darf, daß PFAEHLER nur Herbarmaterial hat untersuchen können. Auf alle Fälle quellen von der Columella aus die Sporen über den Rand der Urne hinaus, da bei dem vorausgesetzten trocknen Wetter die Peristomzähne scharf gegen die Außenseite der Urnenwand zurückgeschlagen sind. Durch den Geruch des Substrates, möglicher Weise auch durch einen eigentümlichen Geruch des *Splachnums*, den WARNSTORF mit dem durchdringenden Geruch der großen Laufkäfer und Kurzflügler vergleicht und auf den der scharfsinnige RUTHE zuerst bei *Splachnum ampullaceum* aufmerksam gemacht hat, werden gewisse Dungfliegen angelockt, die sich, nun wohl auch durch die Farbe angezogen, auf dem bunten Rasen herumtreiben, sich mit den Sporen beladen und sie verbreiten. Nach BRYHN haften die Sporen in kleinen Klumpen aneinander, gerade so wie der Pollen insektenblütiger Phanerogamen. Ist das schöne Wetter vorbei, so nimmt die Urne ihre ursprüngliche Form an; das Peristom schließt sich, und der wertvolle Inhalt ist gegen Regen geschützt.

Es ist klar, daß die Übertragung der Sporen durch Fliegen für die auf Mist oder Kadavern wachsenden Moose von großem Vorteil ist. Denn diese Tiere suchen ja das zur Keimung der Flaschenmoose geeignete Substrat auf, während die Übertragung durch den Wind eine ungeheure Produktion von Sporen und eine große Flugweite der letzteren voraussetzen würde. Ähnliche Beobachtungen wie für *Splachnum* liegen für *Tetraplodon* vor;

nur sind hier, wie bereits früher bemerkt, die Fruchtsiele kürzer und stärker. Mit Scharfblick hat BRYHN den Zusammenhang zwischen der Lebensdauer dieser Moose und der Beschaffenheit des Substrats erkannt.

Das auf Exkrementen der Wiederkäuer gedeihende *Splachnum* ist ein- bis zweijährig, *Tetraplodon* dagegen, auf Tierresten oder Exkrementen der Raubtiere sich ansiedelnd, mehrjährig, da die letztgenannten Stoffe der völligen Zersetzung länger standhalten als der Wiederkäuermist.

Im Gegensatze zu *Splachnum* und *Tetraplodon* ist die auf einem von faulenden Stoffen durchtränkten Boden wachsende *Tayloria splachnoides* auf Selbsthilfe angewiesen. Nach den sorgfältigen Untersuchungen von PFAEHLER sind die sehr langen Peristomzähne (bis über 1 mm nach LIMPRICHT) imstande, die Sporen auf eine Entfernung von 5 cm zu schleudern (auf dem Objektträger ausprobiert). Das geht folgendermaßen zu. Die Peristomzähne bestehen, wie bei den meisten Moosen, aus zwei mit einander auf ihrer Fläche verklebten Lamellen, deren Kontraktionsrichtungen natürlich, wie auch die ausgezeichneten Untersuchungen STEINBRINCK's ergeben haben, im allgemeinen von einander verschieden sein werden. Die Kontraktionsachse, d. h. das Lot auf der Ebene, in der die Drehung stattfindet, wird nach STEINBRINCK durch die Richtung der unter dem Mikroskop sichtbaren Streifen des Peristoms markiert. Somit bildet nach PFAEHLER die Kontraktionsrichtung der Außenlamelle mit derjenigen der Innenlamelle bei *Tayloria splachnoides* einen Winkel von etwa 45 Grad, da die äußeren Streifen schräg, die inneren wagerecht verlaufen. Die Folge davon ist, daß die äußerst hygroskopischen Zähne sich nicht in einer geraden Ebene bewegen können. Bei feuchtem Wetter drehen sie sich korkzieherartig in die Sporenmasse hinein, die dann zum Teil an ihnen haften bleibt. Unter dem Einflusse der Trockenheit drehen sie sich in entgegengesetztem Sinne zurück, verwickeln sich dabei in einander, bis sie nach Überschreitung der Elastizitätsgrenze mit einem Ruck auseinander reißen, wobei die Sporen weggeschleudert werden. Obgleich die Apophyse

der *Tayloria*, wie bei allen *Splachnaceen*, mehr als gewöhnlich entwickelt ist, so kann doch von einem Schauapparat hier nicht die Rede sein, da sie dünner ist als die Urne und überdies noch bei der Reife schrumpft:

Auf einer Kontraktion der Kapselwand beruht nach NAWASCHINS Untersuchungen das Herausschleudern der Sporen aus den *Sphagnum*-Kapseln. Die kugelige Kapsel ist oben mit einem kreisrunden Deckel geschlossen. Torfmoospolster, die mit solchen Kügelchen zuweilen zu Hunderten bedeckt sind, sehen sehr zierlich aus. Trocknet man sie im Hause, so macht man zu seiner Betrübnis die Erfahrung, daß sie beim Eintrocknen die Deckel ihrer Kapseln verlieren, während diese selbst beträchtlich an Volumen einbüßen, indem sie die Form langgestreckter Vasen annehmen (Fig. 9). Sie sind dann mit Wolken von Sporenstaub umgeben, ein Zeichen, daß unter dem Papier eine kleine Explosion stattgefunden hat. Nach NAWASCHIN nun ist die feuchte Kapselwand luftdurchlässig, die trockne, kontrahierte nicht. Es muß

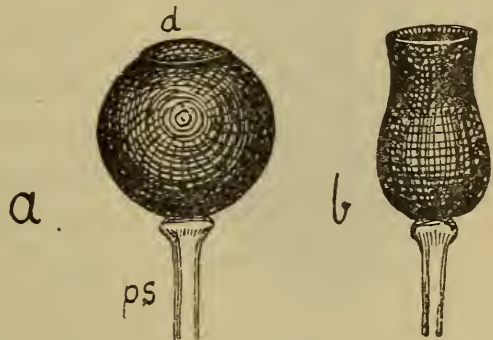


Fig. 9.

Zwei Kapseln von *Sphagnum*, schematisch.
a voll, b entleert, d Deckel,
ps Pseudopodium.

also beim Austrocknen im Innern der Kapsel die Luft komprimiert werden, ein Druck, den NAWASCHIN auf 3 bis 5 Atmosphären schätzt. Schließlich kann das Gewebe zwischen Deckel und Urne den Druck nicht mehr aushalten, jener fliegt gleich dem Stöpsel einer Sektflasche in die Höhe, diese schrumpft nach dem Aufhören des inneren Überdrucks zu einer flaschenförmigen Gestalt zusammen. Die physiologische Möglichkeit für die Undurchlässigkeit war schon dadurch festgestellt, daß man alle Schließzellen ohne Öffnung fand, ein Tatbestand, auf den schon HABERLANDT nachdrücklich hingewiesen hat und von dem man sich durch Präparation einer Torfmooskapsel unter dem Mikroskop ziemlich leicht überzeugen kann. Es ist ein eigentümlicher Anblick, eine *Sphagnum*kapsel

auf der Oberfläche mit zahlreichen, wie es scheint, funktionslosen Schließzellpaaren bedeckt zu sehen.

Höchst überraschend ist die Rolle, die nach der schönen Entdeckung von GOEBEL die Kapselwand von *Diphyscium foliosum*



Fig. 10.

Diphyscium sessile (= *foliosum*).

Vergr. 8,

Aus LIMPRICHT's Werk:

Die Laubmoose Deutschlands,
Österreichs und der Schweiz.

(= *sessile*) (Fig. 10) und vermutlich auch die ähnlich gebaute *Buxbaumia* bei der Austreibung der Sporen spielt. In beiden Gattungen ist die Kapsel schief, sie hat etwa die Gestalt einer Zitrone, von der man ein großes Stück durch einen steil schrägen Schnitt abgetragen hat. Die schräge (dorsale) Fläche ist dem Lichte zugewendet. Bei *Buxbaumia aphylla* ist sie überdies heller als die ventrale Seite und von ihr durch einen Ringwulst scharf abgesetzt. Der Längsschnitt zeigt bei beiden Gattungen zwischen Sporensack und Wand der Kapsel einen großen Luft-raum, der von den weit von einander getrennten Fäden des Ernährungsgewebes durchzogen wird. Die dorsale Wand ist weich und elastisch. Während nun zwar die bei uns nur von SONDER angegebene *Buxbaumia indusiata* auf organischem Substrat (Baummulm) wächst, lieben die beiden andern Arten der Familie, *B. aphylla* und *Diphyscium* trockene Grabenböschungen mit überhängenden Gipfelkanten in sandigen Wäldern. GOEBEL hat nun bei *Diphyscium* beobachtet, wie herabfallende Sandkörner oder Regentropfen aus der getroffenen Kapsel jedesmal eine kleine Sporenwolke her austreiben, ähnlich wie man aus einem Bovist Sporenstaub herausklopfen kann. Durch die auffallenden Körper wird jedesmal die dorsale Kapselwand vorübergehend eingedrückt. Wegen der Ähnlichkeit in Form und Wirkung hat GOEBEL die Kapsel mit einem Blasebalg verglichen. Das kleine kegelförmige Peristom spielt dabei die Rolle der Blasebalgspitze.

Einen auffallenden Gegensatz zu diesem verwickelten Apparat liefern die Kapseln vieler Kleinmoose, deren Sporen einfach dadurch frei werden, daß die Kapselwand aufplatzt (z. B. *Ephemerum*) oder auch verfault (*Phascum*). Bringt man einen fruchtenden Rasen von *Ephemerum* mit, so kann man zu seiner Betrübniß erleben, daß zu Hause statt der Kapseln rote Pulverhäufchen zerstreut auf schwarzer Erde liegen, ein »Präparat«, mit dem sich für's Herbar wenig anfangen läßt. Bei vielen dieser Moose sind die Sporen von ziemlich bedeutender Größe bei verminderter Anzahl; bei *Archidium*, dessen Kapselwand unregelmäßig zerreißt oder auch verfault, sind sie bis zu höchstens 28 vorhanden (Fig. 11) und übermäßig groß, nämlich 0,1 bis 0,2 mm (LIMPRICHT). Da die Kapsel im Laube steckt, so müssen die Sporen, wenn jene zerreißt, in ihrer Gesamtmasse ungefähr dort liegen bleiben, wo sie gewachsen sind; indessen ist *Archidium* nicht selten Überschwemmungen ausgesetzt, wodurch die Möglichkeit einer weiteren Verbreitung gegeben ist. Auch bei *Ephemerum*, *Phascum* und anderen Kleinmoosen ist eine Verbreitung wohl fast nur durch das Wasser (auch Regenwasser) möglich, was um so mehr einleuchtet, als alle diese Moose im Winterhalbjahr fruchten. Ich möchte noch besonders hervorheben, daß in diesen letzten Beispielen von einer Verzögerung der Sporenausstreung, d. h. von einem Ausstreuen in kleinen Portionen, nicht die Rede sein kann. Auf die Bedeutung dieses Umstandes kommen wir im zweiten Teile zurück.

Wir gehen nun zu denjenigen Fällen über, in denen das Peristom eine besonders wichtige Rolle spielt, insofern es die rasche Ausstreung der ganzen Sporenmasse hindert. Bleiben wir zunächst bei den Moosen mit einfachem Peristom. Es

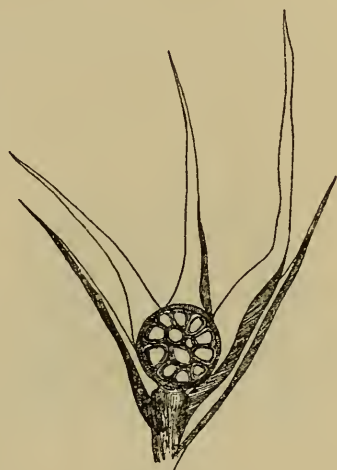


Fig. 11.

Kapsel v. *Archidium phascoides*
im optischen Durchschnitt.

Vergr. 17.

empfiehlt sich, zuerst die Widertonmoose (*Polytrichaceen*) herauszuheben, weil der Bau ihres Mundbesatzes von demjenigen bei allen anderen peristomtragenden Moosen wesentlich abweicht. Im allgemeinen besteht ein Mundbesatz nicht aus ganzen Zellen, sondern aus den Bruchstücken von Zellwandungen. In der unreifen Kapsel wird der Raum unter dem Deckel von dem kuppelförmigen, mehrere Lagen starken Peristomgewebe erfüllt. Bei der Reife trocknet das Ganze zusammen und zerreißt in einen einfachen oder doppelten Zahnkranz. Da die Risse quer durch die Zellwände (in der Längsrichtung der Zähne) gehen, so bestehen die Zähne immer nur aus Rudimenten der ausgetrockneten Zellen.

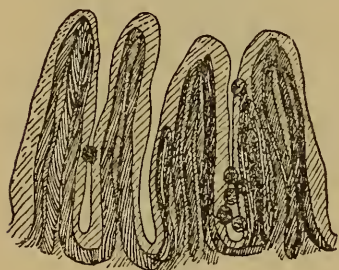


Fig. 12.

Einige Zähne
des Mundbesatzes von
Pogonatum.

Dazwischen einige Sporen.

Vergr. 82.

Anders bei den *Polytrichaceen*. Hier kommen bis 64 Zähne nur in einem Kreise vor. Jeder Zahn ist stumpf und besteht aus langgestreckten ganzen, dickwandigen Zellen, von denen ein mittlerer brauner Streifen und der durchsichtige Rand des Zahnes gebildet wird (Fig. 12). Oben sind die Zähne durch eine kreisförmige Membran, das Diaphragma, mit einander verbunden. Die etwa vorhandene Wasserempfindlichkeit der Zähne ist von geringer oder gar keiner Bedeutung.

Die Zähne von *Catharinaea* sind nach PFAEHLER hygroskopisch; für *Polytrichum* dagegen betont QUELLE, daß sie vom Wasser nicht beeinflußt werden. Auf alle Fälle stäuben die Kapseln von *Polytrichum* bei Regenwetter eben so gut wie bei Sonnenschein. Dagegen ist die Urne hygroskopisch. Der Einfluß, den diese Eigenschaft auf die Bewegungen des Peristoms hat, ist von PFAEHLER für *Catharinaea undulata* genau klargelegt worden. Während die kaum hygroskopische ringförmige Basis des Mundbesatzes ihre Form behält, zieht sich die Urne zusammen. Infolgedessen führen die Zähne um ihre Basis als Drehpunkt eine Hebelbewegung aus, an der sie am oberen Ende durch das gleich der Urne sich zusammenziehende

Diaphragma gehindert werden. So müssen sie sich bogenförmig nach außen biegen. Zur Reifezeit führen die Kapseln mehr oder weniger eine Abwärtsbewegung aus. Die Kapsel von *Pogonatum* bleibt aufrecht, die von *Catharinaea* biegt sich, so daß ihre Mündung etwa in wagerechter Richtung gradeaus sieht; die von *Polytrichum* neigt sich, so daß sie schließlich mit dem Stiel einen rechten Winkel bildet. Diese Kapsel hat daher am meisten Ähnlichkeit mit einer Streubüchse (QUELLE), deren Funktion sie ja auch hat. Werden die genannten Kapseln direkt vom Wasser benetzt, so dringt das Wasser begreiflicher Weise durch die feinen Öffnungen nicht ein, überzieht sie vielmehr mit einem dünnen Häutchen (PFAEHLER). Natürlich können die Sporen dann auch nicht heraus, entweichen aber, sowie das Wasserhäutchen abgeschüttelt ist. Es ist klar, daß die geschilderte Einrichtung die Sporen nur in kleinen Partien austreten läßt. Das Ausschütteln der Sporen durch Windstöße oder durch Insekten wird durch beträchtliche Länge des Stieles unterstützt; indessen ist zu bemerken, daß namentlich in den Gattungen *Catharinaea* und *Pogonatum* auch abgesehen von dem niedrigen *Pogonatum nanum* neben den hochgestielten Arten kurzgestielte Abarten (*P. aloides* var. *minimum*, *P. urnigerum* var. *humile*, *Catharinaea undulata* var. *minor*) vorkommen, deren Früchte sich z. T. kaum über das Laub erheben, während andererseits bei *Pog. nanum* die langgestielte Abart var. *longisetum* zu nennen ist. Dabei läßt sich kein deutlicher Zusammenhang zwischen dem Standort und der Stiellänge erkennen, wenn nicht etwa Mangel an Feuchtigkeit und Nährsalzen vorliegt; auf keinen Fall kann man behaupten, daß an windgeschützten Stellen lange, an windigen Stellen kurze Seten sich ausbildeten.

In dem behandelten Falle wirkt offenbar das Peristom wie eine Art Sieb. Als Sieb oder mit ähnlichem Effekte als Gitter wirkt nun das Peristom bei vielen Moosen, wenn auch die äußere Form recht veränderlich ist und von der eben geschilderten stark abweicht. Diese Abweichung wird zunächst natürlich schon durch

den ganz andern histologischen Aufbau der anderen Peristomformen bewirkt.

In den verschiedenen Gattungen der *Pottiaceen* ist der Mundbesatz recht verschieden ausgebildet, in der Gattung *Pottia* z. T. fehlend (z. B. *Pottia Heimii*, Fig. 7), z. T. rudimentär, in anderen Gattungen wie *Didymodon* und *Trichostomum* lang- und schmalspitzig, z. T. mit Neigung zu spiraliger Drehung; in den Gattungen *Barbula* und *Tortula* endlich seilartig gedreht und oft halb so lang als die Urne oder darüber. Im letzten Falle ist das Peristom eine Röhre, in die durch die Volumenveränderungen der Urne die Sporen hineingeschoben werden. Da die Zähne innen rauh sind, so fallen die einmal hineingeschobenen Sporenmassen nicht so leicht zurück, werden vielmehr durch die hygroskopischen Bewegungen des Peristoms in die Höhe gedreht. Bei trockenem Wetter nämlich drehen sich die Peristomfäden fester um einander, bei feuchtem Wetter lösen sie sich und geben den Sporen den Weg frei, wenn diese durch Erschütterungen (Wind, Regen, Insekten) hinausgeworfen werden. GOEBEL meint, daß die Sporen bei trockenem Wetter auf die Weise hinauskommen, daß beim Zusammendrehen der oberen Peristomenden die basalen Teile der Fäden aus einander weichen und ein Gitter bilden, durch das die Sporen einzeln entschlüpfen können. PFAEHLER dagegen stellt fest, daß *Barbula* und *Tortula* gerade bei trockenem Wetter kaum stäuben wegen des festen Peristomverschlusses, daß dagegen bei feuchtem, sogar bei Regenwetter die Sporenausstreuerung ergiebig sei. Wird das Peristom durchnäßt, so kann natürlich aus dem gleichen Grunde wie bei *Polytrichum* keine Ausstreuerung stattfinden, da die engen Zwischenräume sich mit einem Wasserhäutchen überziehen, das keine Sporen herausläßt. Ich glaube auch nicht, daß die Sporenausstreuerung bei den genannten Moosen der Hauptsache nach während der Trockenheit erfolgen kann; denn sonst wäre es wohl nicht gut möglich, daß sich bei uns *Tortula muralis*, im Süden *Crossidium squamigerum* in so dichten Mengen an senkrechten Mauern ansiedelte. Würden die Sporen bei trockenem

Wetter verstäuben, so würden sie an solchen Lokalitäten schwerlich haften. Überdies reifen die genannten Gattungen, zumal die von den Autoren untersuchten Arten, größtenteils im Winter oder Frühjahr, d. h. zu einer Zeit, in der sie von Trockenheit wenig zu leiden haben. Das südliche *Crossidium* z. B. reift im März und April, d. h. zur Zeit der in Südeuropa üblichen Frühjahrsregen. Auf alle Fälle bildet das lange röhrenförmige Peristom ein Hindernis für das Entschlüpfen der Sporen; es kommt hinzu, daß bei vielen Arten die Urne durch eine mehr oder weniger hohe Grundmembran (bei *Tortula subulata* eben so lang wie das übrige Peristom) verlängert wird, auf deren oberem Rande erst die Spiralfäden des Mundbesatzes beginnen. Die von GOEBEL für *Barbula unguiculata* behauptete Gittereinrichtung findet sich bei dem periodisch unter Wasser gesetzten *Cinclidotus fontinaloides* verwirklicht, weil der obere Teil der Columella nicht mit dem Deckel abfällt, so daß das Peristom unten durch die Urne, oben durch die Spindel fixiert ist. Daher bleibt ihm beim Wechsel der Feuchtigkeit nur in der Mitte ein Spielraum, so daß hier die Zwischenräume bald kleiner, bald größer sind und die Sporen wie durch ein Gitter lassen. Übrigens soll nicht unerwähnt bleiben, daß *Cinclidotus aquaticus*, der im Südwesten und Süden in schnellfließenden Gewässern vorkommt, ein rudimentäres Peristom besitzt, das bald nach der Entdeckelung in Fetzen an der Columella klebt.

Auf *Cinclidotus* folgen im System die sämtlich fels- oder steinbewohnenden *Grimmieen*, deren Peristomzähne oft siebartig durchlöchert (Fig. 13), in den Gattungen *Dryptodon* und *Rhacomitrium* sogar ähnlich wie bei *Cinclidotus* in je zwei dünne Schenkel gespalten sind. Bei den beiden letzten Gattungen kann nun in der Tat das Peristom ein wirksames Gitter zur Verzögerung der Sporenausstreuung bilden, denn bei *Rhacomitrium* stehen die oft sehr langen Mundbesatzzähne trocken aufrecht; bei *Dryptodon* neigen sie sogar nach innen. Dagegen in den Gattungen *Schistidium*, *Coscinodon* und *Grimmia* ist eine Beziehung zwischen dem Mundbesatze und einer Verzögerung der Sporen-

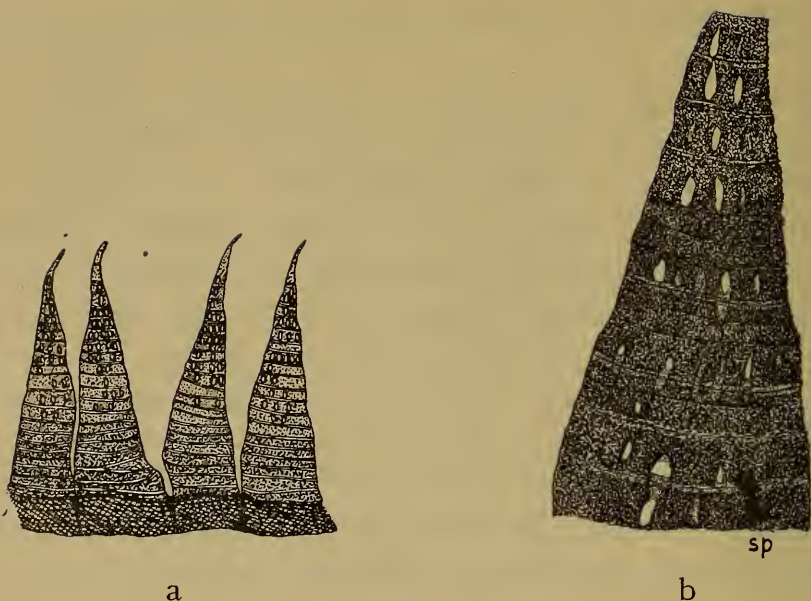


Fig. 13.

Schistidium apocarpum.

a Ein Viertel des siebartig durchlöcherten Mundbesatzes. Vergr. 55.

b Stück eines Peristomzahnes, bei sp zwei Sporen. Vergr. 210.

ausstreuung nicht klar erkennbar. Im allgemeinen sind die Seten in den genannten Gattungen kurz, bei *Schistidium* sogar die Kapseln zwischen die Perichätialblätter eingesenkt. Infolge dessen behindern schon die recht langen und trichterförmig in die Höhe stehenden Perichätialblätter das Wegfliegen der Sporen. Freilich finden wir bei dem nur mit rudimentärem Mundbesatze ausgestatteten *Schistidium atrofusum* den Deckel in Verbindung mit der Columella, ein Befund, der bei *Pottia Heimii* und *Hymenostylium* für die Verzögerung der Sporenaussaat in Anspruch genommen wurde. Diese Einrichtung fehlt aber bei *Grimmia anodon*, die überhaupt kein Peristom hat; und bei vielen, wie z. B. bei *Coscinodon cribrosus* wird in der Trockenheit der Mundbesatz sternförmig ausgebreitet, so daß hier höchstens von einem Verschußapparat gegen Regenwetter die Rede sein kann. Dabei bleiben freilich die Sieblöcher der Zähne ohne »finale« Erklärung.

Dagegen finden wir einen wohl ausgebildeten Gitterapparat in dem inneren Mundbesatze der schönen Kapsel des bekannten

Quellenmooses, der *Fontinalis antipyretica* (Fig. 14). Die von SCHIMPER stammende Abbildung desselben ist recht bekannt, da sie allgemein in den Handbüchern der Botanik reproduziert wird. Im trocknen Zustande rollen sich die äußeren Zähne des Mundbesatzes ein und bilden einen Kranz um das Endostom, das aus Längs- und Querleisten besteht. Da die letzteren die schwächeren sind, so faltet sich das ganze Endostom der Länge nach ein, etwa in der Form gewisser Lampenschirme und Blumentopfmanschetten. Gleichzeitig hat nach PFAEHLER der Ruck der Exostomzähne die sich zusammenziehende Urne erschüttert,

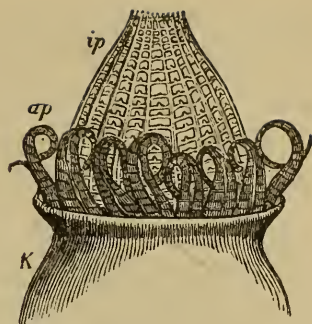


Fig. 14.

Kapselmündung von
Fontinalis antipyretica
nach SCHIMPER aus dem
Lehrbuch der Botanik
von SACHS. Vergr. 50.

ap äußerer Mundbesatz
ip innerer Mundbesatz
K Urne der Kapsel.

so daß erstens die Sporenmasse in der Urne gelockert und zum Teil ins Gewölbe des Exostoms befördert, zweitens die dort bereits befindlichen Sporen durch die Löcher des Gitters ins Freie geworfen werden. Wenn PFAEHLER die äußeren Peristomzähne abschnitt, so fand die Ausstreuung der Sporen nicht statt. Daß das Exostom als Schutz gegen das Wasser diene (GOEBEL), wird von demselben Autor bestritten; das Wasser kann überhaupt nicht durch die Endostommaschen eindringen, da es deren Innenraum sofort als Häutchen abschließt (vgl. *Polytrichum*). Eine in Wasser gelegte Kapsel, einerlei ob mit oder ohne äußeren Mundbesatz, enthielt, nach langer Zeit herausgenommen, immer noch Luft. Übrigens weiß jeder, der gewohnt ist, Peristompräparate zu machen, wie schwer die Luft aus der Kapsel auszutreiben ist. Nicht einmal das Kochen genügt, wenn man nicht vorher einen Schnitt in die entdeckelte Kapsel gemacht hat.

Mit *Fontinalis* sind wir bereits zu den Moosen mit doppeltem Mundbesatz übergegangen. Bei den baum- und steinbewohnenden zahlreichen *Orthotrichum*-Arten ist das innere Peristom so schwächig, daß seine Zähne in den Bestimmungstabellen als Wimpern bezeichnet werden, ein Ausdruck, den man sehr passend finden wird, wenn

man eine entdeckelte trockne *Orthotrichum*-Kapsel bei schwacher Mikroskop-Vergrößerung von oben betrachtet. Die Wimpern stehen dann aufrecht oder nach innen gebogen, während die im Vergleich zur Kapsellänge unbedeutenden Exostomzähne scharf an der Außenwand der Urne zurückgeschlagen sind (Fig. 6). In diesem Zustande betrachtet man sie am liebsten, wenn man nach ihrer Zahl und Länge die Gruppe feststellen will, in die das betreffende *Orthotrichum* gehört. Sowie man nämlich Wasser anwendet, um auf das Objekt ein Deckglas zu legen und es bei stärkerer Vergrößerung zu betrachten, schnellen die Außenzähne empor und legen sich auf die Wimpern, so daß deren Beobachtung nicht selten erschwert wird. Nun sind Zahl und Größe der Wimpern oder Cilien bei den verschiedenen *Orthotrichum*-Arten recht verschieden. Bei *O. anomalum* und *cupulatum* fehlen sie ganz, bei anderen Arten sind 8, bei wieder anderen 16 gleich lange oder abwechselnd lange und kurze vorhanden. Diese Größenunterschiede scheinen mit der Beschaffenheit des Exostoms zusammenzuhängen. Springt nämlich dieses in 16 Einzelzähne (schließlich wenigstens) auseinander, so sind bei einer Reihe von Arten die in den Lücken stehenden Cilien gleich lang; bleibt es aber bei 8 Paarzähnen, so sind entweder nur 8 Cilien da, oder die in der Mittellinie eines Zahnpaares stehende Wimper ist kleiner. Dies Verhalten variiert aber innerhalb derselben Art; und wie gering die biologische Bedeutung der Wimpern anzuschlagen ist, zeigt das Beispiel der Arten *O. nudum* und *O. cupulatum*, die von LIMPRICHT auf Grund der Cilien getrennt werden, die bei *nudum* zu 8 oder 16 vorhanden sind, bei *cupulatum* fehlen, während WARNSTORF sie zu einer Art (*cupulatum*) zusammenzieht, weil die Cilien variieren, dagegen die übrigen Merkmale zur Speziestrennung nicht ausreichen. Auch bei *O. stramineum*, das von PFAEHLER untersucht worden ist, sind die abwechselnden Cilien oft rudimentär, so daß zwischen den übrigen 8 so viel Zwischenraum bleibt, daß von einem ernstlichen Hindernis für die herausstäubenden Sporen wohl kaum die Rede sein kann (man vergleiche auch Fig. 6). Dagegen bewirkt die

Wasserempfindlichkeit der Exostomzähne, die bei dem ersten Tropfen sich aufrichten und über den Urnenmund legen, einen guten Verschuß gegen Regen, sofern ein solcher für die kleine Kapselmündung nötig ist. Von den häufig vorhandenen Leisten der Urne, deren Zwischenräume sich nach innen falten und so die Sporen in die Höhe treiben, ist früher (S. 92) schon die Rede gewesen. Indessen fehlen sie bei *O. leiocarpum* und sind kurz bis undeutlich bei *rupestre*, *Sturmii* und *speciosum*.

Eine große Rolle spielt zweifellos das Endostom bei den Gattungen *Bryum*, *Mnium* und Verwandten, sowie bei den *Hypnaceen*. Bei diesen Moosen ist gewissermaßen das Ideal eines Peristoms verwirklicht. Wir beschränken uns darauf, den Mundbesatz von *Bryum* zu untersuchen (Fig. 15), da dieses Organ bei *Mnium* und bei den *Hypnaceen* ziemlich nach demselben Typus gebaut ist. Endostom und Exostom haben je 16 Zähne. Die des letzteren haben nach innen vorspringende Querleisten, die Grenzen der bei der Reife vertrockneten und zerrissenen Peristomzellen. Senkrecht zur Richtung dieser Leisten schlägt sich das Exostom bei Trockenheit nach außen, bei Regen nach innen, wobei es im Stande ist, mit den Spitzen tief in die Sporenmasse einzutauchen. Die Rollbewegung der Exostomzähne kann man auch bei Einwirkung von wasserentziehenden Flüssigkeiten, wie Glyzerin, bemerken. Mit großer Kraft biegen diese Zähne sich im Glyzerin nach außen und mit den Spitzen wieder nach innen, so daß man sie zur Anfertigung eines Präparates längere Zeit in Glyzerin liegen lassen muß, bis dieses sich mit dem Wasser in den Zähnen völlig ausgeglichen hat, worauf letztere sich wieder glatt ausdehnen. Dagegen wird das Endostom entsprechend seiner geringen Hygroskopizität durch jene Behandlung nicht weiter beeinflusst. Für die Sporenausstreuung kommen nun mehrere Momente in Betracht. Das Endostom ist ähnlich wie

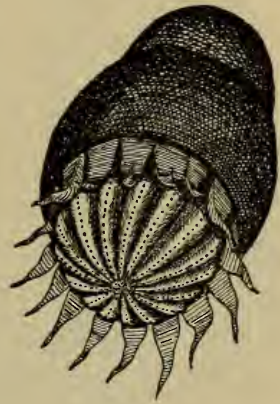


Fig. 15.

Kapsel von *Eubryum* mit geöffnetem äußeren und kuppelförmig gewölbtem inneren Peristom. Vergr. 50.

das von *Fontinalis* der Länge nach gefaltet; es werden also leicht in seinen Falten Sporen zurückgehalten. Seine 16 Zähne sind in der Mittellinie durchbrochen, manchmal nur ritzenförmig, in der Regel fensterartig klaffend (Figg. 16 u. 18). Die Ränder der Löcher sind unregelmäßig und teilweise nach



Fig. 16.

Zwei Zähne und drei Wimpern des inneren Mundbesatzes von *Bryum bimum*.

Vergr. 210.

innen gebogen, so daß Ansatzpunkte für Sporen entstehen. Überdies sind die Zähne, namentlich auch die Spitzen des Exostoms, oft papillös. Zwischen den Endostomzähnen befinden sich ferner bei vielen Arten, insbesondere bei den Mitgliedern der Untergattung *Eubryum*, ihnen an Länge fast gleiche, von Zeit zu Zeit knotig verdickte Fäden, Wimpern genannt (Fig. 16). Die Untergattung *Eubryum* ist dadurch gekennzeichnet, daß die Wimpern an ihrer Innenseite meist ziemlich lange Anhängsel tragen, wiederum Ansatzpunkte für Sporen, dann aber auch Hindernisobjekte für die Exostomzähne. Nachdem nämlich bei trockenem Wetter die Urne durch ihre Schrumpfung einen Teil der Sporen in das Gewölbe des Endostoms gepreßt hat, wo viele von ihnen hängen bleiben, tauchen die Zähne des äußeren Mundbesatzes beim nächsten Regen tief in sie ein. Hiezu kommt, daß die Kapseln von *Bryum* meistens hängen (Fig. 17), so daß die Sporen auch ohne Mitwirkung der Urne schließlich in die Endostomkammer fallen. Hat der Regen aufgehört, so beginnen die Außenzähne, sich aus den Sporen (z. T. mit ihnen beladen) herauszuziehen und nach außen zu springen. Dabei verwickeln sie sich in dem

innen gebogen, so daß Ansatzpunkte für Sporen entstehen. Überdies sind die Zähne, namentlich auch die Spitzen des Exostoms, oft papillös. Zwischen den Endostomzähnen befinden sich ferner bei vielen Arten, insbesondere bei den Mitgliedern der Untergattung *Eubryum*, ihnen an Länge fast gleiche, von Zeit zu Zeit knotig verdickte Fäden, Wimpern genannt (Fig. 16). Die Untergattung *Eubryum* ist dadurch gekennzeichnet, daß die Wimpern an ihrer Innenseite meist ziemlich lange Anhängsel tragen, wiederum Ansatzpunkte für Sporen, dann aber auch Hindernisobjekte für die Exostomzähne. Nachdem nämlich bei trockenem Wetter die Urne durch ihre Schrumpfung einen Teil der Sporen in das Gewölbe des Endostoms

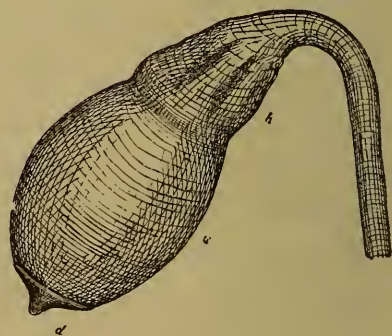


Fig. 17.

Nickende Kapsel von *Bryum lacustre* d Deckel, h Hals, u Urne.

Vergr. 25.

Endostomgewirr, dessen Zähne mit ihnen abwechseln, während die Wimpern vor ihnen stehen, namentlich auch in den Anhängen der Wimpern. Bei steigender Stärke des Ausspringens (infolge zunehmender Austrocknung) läßt sich das Exostom nicht mehr vom Endostom halten; und seine Zähne schleudern nun mit einem Ruck die in dies Gewühl geratenen Sporen auf nicht unbeträchtliche Entfernung nach außen.

Man kann nicht leugnen, daß die geschilderte Einrichtung wohl geeignet ist, die Sporen in derjenigen Weise an die frische Luft zu befördern, wie die Biologen es für zweckmäßig erachten. Die Sporen gelangen immer nur portionenweise hinaus, so daß Verschleuderung vermieden wird; und sie werden gleichzeitig so hinausgeworfen, daß sie die größte Chance haben, ziemlich weit von der Mutterpflanze sich zu entfernen. Wir wollen aber nicht unbemerkt lassen, daß die Wimpern, die ja an der Verwirrung und ruckweisen Entfaltung des ganzen Peristombetriebes einen nicht unbeträchtlichen Anteil haben, bei der

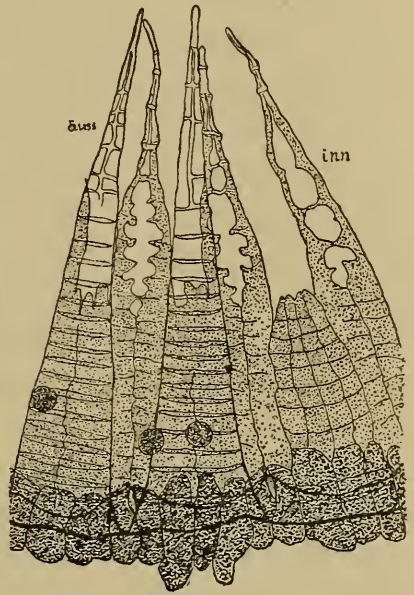


Fig. 18.

Zwei äußere und drei innere Zähne des Mundbesatzes von *Bryum lacustre*, drei Sporen. Vergr. 210.

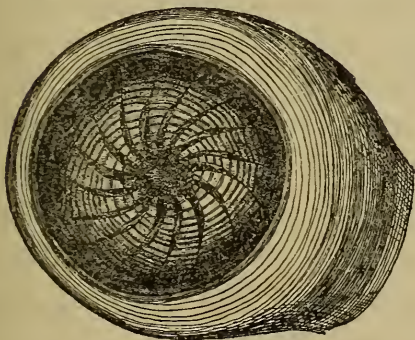


Fig. 19.

Urnenmund von *Funaria hygrometrica*.

Vergr. 27.

Untergattung *Cladodium* meistens fehlen (Fig 18) und bei einigen Arten so variabel sind, daß sie an demselben Mundbesatze in ganz verschiedenen Größen auftreten.

Besonders gut studiert und dargestellt finden wir noch bei PFAEHLER die Ausstreuerung der Sporen bei *Funaria hygrometrica*, dem gemeinen Regenmoose, bei dem sie ein Raffinement erreicht, hinter

dem vielleicht sogar *Bryum* noch zurückbleibt (Fig. 19). Die 16 Zähne des Außenmundbesatzes sind spiralig zur Mitte der Urnenöffnung gebogen, wo sie längere Zeit durch eine kleine Gewebeplatte zusammengehalten werden, so daß sie auf ihrer halben Länge den größten Spielraum für ihre Bewegungen haben. Sie besitzen an ihrer Innenseite ziemlich starke Querleisten, die mit ihren Enden den Rand der Zähne überragen. Bei feuchtem Wetter schließen sie die Urnenöffnung vollständig, bei mehr oder weniger trockenem Wetter aber heben sie sich auf halber Länge, so daß zwischen ihnen 16 Spalten frei werden, durch die sich die dolchartigen Endostomzähne hindurchdrängen können, so daß ihre Spitzen sich in die Luft strecken. Sie sind dazu befähigt, weil sie in ihrer Mitte, d. h. auf halber Länge, eine Art von Gelenkstelle haben, die so beschaffen ist, daß sie hier um 90° um ihre Längsachse gedreht werden können. Schließt sich das Exostom, so wird die Außendrehung rückgängig gemacht. Nun ist der äußere Mundbesatz so stark hygroskopisch, daß er auf Feuchtigkeitsänderungen in der Luft reagiert, so daß die Exostomzähne zwischen der kleinen sie verbindenden Gewebeplatte und dem Urnenrande auf und ab wippen und zwar ruckweise, ähnlich, wie ein Gummiball, den man eingedrückt hat, sich durch eine schnelle Bewegung wieder rundet. Dabei müssen sich nun auch die Endostomzähne in der oben geschilderten Weise bald nach innen, bald nach außen bewegen, wobei sie aber zunächst durch die überstehenden Querleisten der Exostomzähne gehindert werden. Ist die Elastizitätsgrenze überschritten, so schnellen sie mit einem Ruck nach außen und schleudern dabei die an ihnen oder an den Querleisten hängenden Sporen auf eine beträchtliche Entfernung hinaus. Die Wirkungen der auf und ab wippenden Exostomzähne sowie die Hin- und Herdrehungen der Endostomzähne pflanzen sich jetzt auf die Urne fort, die durch unregelmäßige, aber tiefe Längsfaltungen (Fig. 2) ihren Innenraum bei trockenem Wetter beträchtlich verkleinert und einen Teil der Sporen ins Peristomgewölbe schiebt. Hierbei bleibt es aber nicht, sondern durch die wiederholten Erschütterungen findet auch

ein inneres Bombardement statt, wobei die Sporen gegen die Innenseite des Peristoms geschleudert werden.

Dabei ändert der Urnenmund beständig seine Stellung. Je nach dem Grade der Zusammenziehung der Kapsel und der Neigung des hygroskopischen Fruchstiels ist er bald mehr nach oben, bald mehr nach unten gerichtet und wird durch den sich um seine Längsachse drehenden Stiel überdies im Kreise herumgeführt, so daß ihm hinsichtlich der Stellung die größte Mannigfaltigkeit zur Verfügung steht. Daß die dicht stehenden Stiele sich um einander verwickeln können, um dann mit um so größerer Energie sich zu trennen und die Sporen wegzuschleudern, ist S. 89 schon erwähnt worden.

Die Betrachtung der Peristome hat uns lange aufgehalten; um so kürzer können wir uns hinsichtlich des Ringes (annulus) fassen, dessen Lage zwischen Urne und Deckel etwa der Lage des Gummiringes um den Stöpsel einer Flasche mit Patentverschluß entspricht. Natürlich fehlt der Ring da, wo kein Deckel vorhanden ist. Aber selbst wenn dieser gut ausgebildet ist, vermißt man ihn noch, oder er ist nur durch ein paar abweichend gebildete Zellen oder Zellreihen markiert (Fig. 20). Am schönsten entwickelt ist er bei den zuletzt beschriebenen Moosen. Hat man eine bedeckelte *Bryum*-Kapsel gekocht, so ist die Innenseite des Ringes stark aufgequollen und hyalin, die Außenseite dünner, fester und braun. Durch die gegenseitige Spannung tritt eine Zerreißung ein, der Ring rollt sich ab, so daß, wie bei den, Krusedullen genannten, Spaltstücken eines Löwenzahnschaftes die Innenseite zur Außenseite wird. Dadurch tritt natürlich eine Trennung zwischen Urne und Deckel ein. Dieser fällt im allgemeinen ab, wenn er nicht, wie schon erwähnt (S. 94), von der Columella noch getragen wird. Aber auch bei trockenem Wetter kann der Ring zerreißen, wenn nämlich die Urnenzellen stärker schrumpfen als die wasserspeichernden

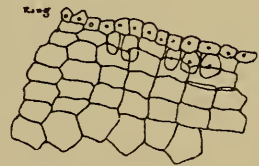


Fig. 20.

Randzellen der Urne von *Physcomitrium eurystomum* mit den Zellen des einreihigen Ringes.

Vergr. 93.

Zellen des Ringes. In diesem Falle tritt eine gewaltsame Dehiszenz ein, wobei ebenfalls der Ring zerreißt und abfällt. Diese Verhältnisse sind von DIHM genauer untersucht und beschrieben worden.

II. Abschnitt.

Damit haben wir einen Überblick über die wichtigsten Formen der Sporenausstreuerung bei den Laubmoosen gewonnen. Eine wunderbare Mannigfaltigkeit zeigt sich vor unseren Augen; sie wird natürlich bei Erweiterung der Untersuchungen, namentlich auch bei der Betrachtung ausländischer Formen noch bedeutend größer. Wie immer in der Natur, so bewegt auch hier der Gegensatz zwischen unserm eingengten Auffassungsvermögen und der tatsächlichen Formenfülle unser Gemüt. Im Grunde genommen ist ja die Mannigfaltigkeit an sich in der Lebewelt nicht das Erklärungsbedürftige; sie ist vielmehr auf Grund der großen Mannigfaltigkeit der physikalischen und chemischen Bedingungen von vornherein wahrscheinlich. Es ist daher geradezu gegen alle Kausalität, zu irgend einer Zeit von einer Einförmigkeit ausgehen zu wollen.¹⁾ Aber unser immer wieder vergebliches Bestreben, die mit fortschreitender Spezialwissenschaft sich mehr und mehr offenbarende Formenfülle in unserer Vorstellung zusammenzufassen, bringt uns von selbst dazu, immer mehr Gruppen von ähnlichen (niemals gleichen!) Merkmalen und die Gruppen wieder zu höheren Kategorien zu verknüpfen, deren Vorstellungen sich strahlenförmig in unserem Geiste zu einem scheinbar einheitlichen Bilde vereinigen. So machen wir es --- soweit es uns möglich ist --- mit der Gesamtheit der biologischen Erscheinungen, so auch mit einem umschriebenen Gebiete. Man nennt das wohl, eine Summe von Vorgängen unter einem einheitlichen Gesichtspunkte auffassen, und vergißt nur zu leicht dabei, daß man selbst ihn erst geschaffen hat, daß er also subjektiver Natur ist. So faßt man aus einander folgende Erscheinungen an lebenden Wesen leicht so auf wie menschliche

¹⁾ Entsteht tatsächlich aus einer wirklichen (nicht scheinbaren!) Einförmigkeit eine Mannigfaltigkeit, so ist nicht diese erklärt, sondern der Vorgang ist nun gerade erklärungsbedürftig. Eine Erklärung ist dann in einer entsprechenden Mannigfaltigkeit äußerer Ursachen zu suchen.

Handlungen, die aus einander hervorgehen und von denen man sicher weiß, daß ihnen eine Absicht zu Grunde liegt. Personifiziert doch auch der naive Mensch alle Gegenstände und schreibt ihnen Absichten zu, als ob sie seinesgleichen wären.

So ist es auch nicht wunderbar, daß der Mensch, wenn von einer Kette aus einander folgender Erscheinungen die Glieder ihm in umgekehrter Folge bekannt werden, das zur Zeit letzte Glied als das Ziel ansieht, auf das die andern zustreben. Er sieht dann dieses so an, als ob es notwendig hätte erreicht werden müssen, und vergleicht die Reihenfolge der andern Glieder mit derjenigen Reihenfolge, die er gewählt haben würde, um selbst das letzte Glied herzustellen. Da nun die kausale Reihenfolge eine notwendige ist¹⁾, so findet er oft nach Berücksichtigung aller Nebenumstände, daß er es selbst nicht hätte anders machen können. Er vertauscht dann die Natur mit sich selbst und sieht sie als eine Werkmeisterin an, die unbedingt jenes Ziel erreichen wollte.

Das ist natürlich eine anthropomorphe Anschauungsweise. Will man aber den Wörtern zielgemäß oder zweckmäßig einen objektiven Sinn beilegen, so kann man dafür nur existenzfähig setzen. Dann aber lohnt es sich nicht weiter, darüber zu sprechen; denn was existiert, ist natürlich auch existenzfähig. D. h., seine Existenz ist nur eine Frage der Zeit, denn alles, was besteht, ist wert, daß es zugrunde geht.

Etwas anderes ist es, wenn man die Beziehungen untersucht, die zwischen einer nun einmal gegebenen Organisation und den Lebensäußerungen des Organismus bestehen. Das ist eine in der Tat kausale Untersuchung, bei der zunächst ganz unerörtert bleibt, welchen Ursachen jene Organisation ihr Dasein verdankt. Diese müssen doch offenbar vor der Organisation dagewesen sein, während jene erst in die Erscheinung treten können, wenn die Organisation bereits da ist; wie auch schon DE CANDOLLE nachdrücklich hervorhebt, daß keine Funktion vor dem Organ da sein kann. Das gilt auch, wenn eine Organisation in der Um-

¹⁾ Ihre Umkehrung ist aber nicht notwendig, da dasselbe Ziel auf verschiedenen Wegen erreicht werden kann (Konvergenz).

bildung begriffen ist. Jede Organisation hat natürlich eine gewisse Variationsbreite ihrer Funktion und so kann zwischen beiden eine Wechselwirkung bestehen; aber jeder Fortschritt der Funktion in einer gewissen Richtung ist abhängig von einer vorausgegangenen entsprechenden Änderung in der Organisation. Man hat also die drei Dinge streng zu unterscheiden: 1) die Ursachen, die eine Organisation bewirkt haben, 2) die Organisation selbst, 3) die Lebensäußerungen, die auf derselben beruhen. Setzt man 3 an die Stelle von 1, so vertauscht man Vergangenheit und Zukunft. Es ist darum auch nicht ganz richtig, wenn in einem bekannten Lehrbuche der Zoologie die folgenden beiden Beispiele für falsch erklärt werden. A. Weil der Maulwurf Grabpfoten besitzt, ist er auf eine unterirdische Lebensweise angewiesen. Oder: die Gestalt des Körpers bestimmt die Lebensweise. B. Soll ein Tier unterirdische Gänge wühlen, so müssen seine Pfoten geschickt zum Graben sein. Oder: die Lebensweise führt die Gestalt des Tieres herbei. Wenn man die These A nur ein klein wenig präziser ausdrückt, indem man sagt: weil der Maulwurf Grabpfoten hat, deswegen kann er graben, so ist sie ebenso unzweifelhaft richtig, als wenn man sagt: wenn der Landarbeiter einen Spaten hat, ist er imstande, sein Land umzugraben. Sie ist ja weiter gar nichts als die Feststellung des tatsächlichen Zusammenhanges zweier Beobachtungen. In dem angeführten Falle lohnt es sich nicht, diese Feststellung hervorzuheben, weil sie sehr simpel ist; es gibt aber doch zahlreiche Fälle, in denen die Funktion eines Organs lange unklar war und wo man froh war, als sie entdeckt wurde. Die Umkehrung aber ist nur unter der Voraussetzung bedingt richtig ¹⁾, daß die Formen sich allmählich verändert haben und durch Selektion die für die Funktion passende Form schließlich übrig geblieben sei. Ganz abgesehen davon, daß die Selektion erst auswählen kann, wenn schon eine Organisationsänderung vorliegt — worauf später zurückzukommen ist — schließt die Umkehrung also immer eine Hypothese

¹⁾ Das Tier (auch ein hypothetisches Urtier) muß doch bei Beginn der Lebensweise schon eine Gestalt haben!

ein, während die Form A eine unter Umständen höchst wertvolle Feststellung des ursächlichen Zusammenhanges zweier Tatsachen bedeutet. Obendrein ist die Form B lückenhaft, insofern sie keinen notwendigen Kausalzusammenhang angibt. Denn das Graben braucht, wie zahlreiche Tiere beweisen, nicht zur Ausbildung spezifischer Grabhände zu führen, wie sie der Maulwurf hat; es müssen also noch andere Momente mitgewirkt haben.

Ist es da nicht sicherer, die erste einwandfreie Form zu wählen, statt bei der zweiten immer gleichzeitig eine Hypothese einzuschließen, von der es doch genügt, wenn sie ein für allemal ausgesprochen ist? Muß man denn bei jedem biologischen Befunde gewissermaßen in Klammern hinzusetzen: ich glaube an die Descendenztheorie und an die Allmacht der Selektion? Es ist auch unrichtig, zu sagen: »natürlich müssen alle Anhänger der Umbildungstheorie die Version A verwerfen, weil damit jede Möglichkeit einer Veränderung der Tiere ausgeschlossen wird.« Der Anhänger der Version A sagt ja gar nicht, daß die Hände des Maulwurfs von Anbeginn so gewesen sind. Ändern sie sich einmal aus unbekannten Gründen, so ändert sich auch ihre Funktion. Ihre Funktion darf sich aber nur in der Weise ändern, daß sie von ihnen überhaupt ausgeführt werden kann, sonst kann auf diese Organe die Änderung nur insofern einwirken, als sie durch Nichtgebrauch verkümmern. Den Anhänger der Version B aber muß man fragen: wie sind denn die ersten Lebewesen — wenn man von solchen sprechen darf — zu ihrer Organisation durch die Funktion gekommen?

Tatsächlich sind wir durch Anwendung der Version B zu Schlußfolgerungen gekommen, die ich im Gegensatz zu den geraden Schlußfolgerungen als invers bezeichnen möchte, wie z. B. folgende. »Der Giftstachel des Skorpions liegt am Ende des Körpers. Soll er über oder gar noch vor den Körper gebracht werden, dann muß der Rumpf des Tieres nicht allein sehr langgestreckt, sondern überaus biegsam und beweglich sein. Das ist er auch.« Dabei wird stillschweigend die Lage des Giftstachels am Körperende als das Primäre vorausgesetzt, was um so

mehr der Berechtigung entbehrt, als die Kurzflügler (*Staphylinen*) ihren Hinterleib mit der gleichen Gewandtheit wie der Skorpion bewegen, ohne daß sie eines Giftstachels sich erfreuen. Mit demselben Rechte kann man schließen: um durch ein Sieb von 1 qmm Lochgröße zu fallen, müssen gewisse Sandkörner weniger als 1 mm Durchmesser haben. Das haben sie auch.

Nun ist dem Autor des Satzes über den Skorpion absolut kein Vorwurf zu machen, denn diese inverse Schlußfolgerung ist allgemein. Finden wir doch in der Einleitung zu einer bekannten und vorzüglichen Physiologischen Pflanzenanatomie den Passus: »Eine wissenschaftliche Erklärung der morphologischen Tatsachen — — liegt erst dann vor, wenn sie auf dem Boden des Kausalitätsprinzipes fußt. Indem wir die morphologische Eigenschaft als Wirkung auffassen, können wir nach zwei Seiten hin ihren Ursachen nachgehen: wir können entweder die Erkenntnis der wirkenden Ursachen, der »*Causae efficientes*« anstreben, oder die Endursachen, die »*Causae finales*«, zu erforschen suchen.« Weiterhin heißt es: »Eine auf der Erkenntnis der Endursachen beruhende Erklärung der morphologischen Tatsachen ist es dagegen, wenn der Nachweis des Zusammenhanges zwischen morphologischem Bau und physiologischer Leistung erbracht und gezeigt wird, daß die Ausgestaltung der Teile mit Rücksicht auf die zu erfüllenden Funktionen mehr oder minder zweckentsprechend ist.« Das bedeutet nichts anderes als die Vertauschung von Wirkung und Ursache, daß heißt nichts weiter als: in der Reihenfolge Ursachen der Organisation, Organisation, Anwendung derselben, kann man je nach Bedarf von hinten oder von vorn anfangen. Also ein richtig umkehrbarer Prozeß! Dem entspricht der Schluß, den man tatsächlich gedruckt finden kann: Da die Gliederfüßer mit ihrer Körperunterseite den Boden fast berühren, so müssen sie Mundteile haben, die sich seitlich bewegen. Infolge dessen sind sie so ausgerüstet. Damit wäre dann diese Organisation »erklärt«, und es ist nur zu bedauern, daß der arme Maulwurf, der kaum größer ist als ein Goliathkäfer, sich mit den Säugetierkiefen behelfen muß.

Wenn ich sage: jemand hat 2000 Mark und kann daher eine Reise nach Amerika machen, so bleibt ganz unerörtert, wie er zu dem Gelde gekommen ist. Wollte man aber den Schluß umdrehen mit den Worten: jemand will nach Amerika reisen und hat daher 2000 Mark, so würde man in diesem Falle niemanden davon überzeugen. Bei Tieren und Pflanzen scheint es freilich etwas Anderes zu sein. Nun liegt es mir sehr fern, den Verfasser der oben gerügten Sätze tadeln zu wollen. Ich habe sie nur als Beispiel einer in weiten Kreisen verbreiteten Art zu schließen angeführt; und zu der Zeit, als jenes Buch erschien, habe ich auch nicht anders geurteilt. Es ist eben jeder ein Kind seiner Zeit. Heutigentags macht sich in der Tat ein Umschwung zu Gunsten der geraden, einzig logischen Schlußfolgerung bemerkbar, obgleich es natürlich auch früher schon Stimmen gegeben hat, die ihrer Anwendung das Wort redeten. So lesen wir gerade bei GOEBEL, der doch viele »Zweckmäßigkeiten« im Bau der Mooskapsel aufgedeckt hat, in der Einleitung zu seinen 1889 erschienenen Pflanzenbiologischen Schilderungen den beherzigenswerten Satz: Als heuristisches Prinzip hat die Nützlichkeitstheorie ohne Zweifel große Bedeutung, falls man nicht vergißt, daß mit dem Nachweis, inwiefern ein bestimmtes Form- oder Bauverhältnis für die Pflanze nützlich ist, noch nichts erklärt ist (bei G. nicht gesperrt). Selbstverständlich denke ich auch nicht daran, PFAEHLER anzugreifen, dessen ausgezeichnete Abhandlung ich an die Spitze dieses Aufsatzes gestellt habe und dessen Beobachtungen uns eine Fülle neuer Beziehungen aufgedeckt haben. Gerade deswegen ist mir PFAEHLER's Arbeit willkommen gewesen, weil sie in umfassender Weise das bis dahin Bekannte über die »Zweckmäßigkeit« in der Organisation der Mooskapsel zusammengestellt hat.

Ehe ich daran gehe, diese »Zweckmäßigkeiten« kritisch zu besprechen, will ich noch einige Beispiele anführen, in denen ich mich bemühen will, die inverse und gerade Schlußfolgerung einander möglichst klar gegenüberzustellen. Die starke Entwicklung

von Haaren wird im allgemeinen bei Pflanzen als ein Merkmal xerophytischer Lebensweise betrachtet. Die Haare sollen vielfach die Verdunstung verzögern, und somit ist diese Organisation »final erklärt«. Nun kann es vorkommen, daß *Campylopus brevipilus*, ein Moos unserer Heidegegenden, in feuchten Jahren keine Haare an den Blattspitzen entwickelt. Er kann dann zu der Form *epilosus* werden. Nun könnte man vielleicht die Vermutung aufstellen, daß in trocknen Jahren die Verdunstung an den Blattspitzen größer ist als die Wasserzufuhr. Man könnte weiter vermuten, daß dadurch trockne Spitzen entstehen, die mit der Zeit erblich würden. Man kann sich dann bemühen, eine solche Hypothese experimentell zu prüfen: zu verifizieren oder zu widerlegen. Das wäre eine logisch mögliche Kausalbetrachtung. Dagegen den Nutzen der Haare (Zweck) als Ursache anzusehen, heißt Vergangenheit mit Zukunft vertauschen. Ein anderes Beispiel. Als Fälle xerophytischer Organisation werden ganz allgemein eingesenkte Spaltöffnungen angesehen. Es wird dann oft stillschweigend vorausgesetzt, daß der Nutzen, den solche Spaltöffnungen leisten sollen, auch ihre Ausbildung herbeigeführt habe. Nun ist es natürlich nicht zu leugnen, daß aus einer Spaltöffnung, die von anderen Zellen der Oberhaut überwölbt wird, wie das bei vielen xerophytischen *Orthotrichum*-Arten der Fall ist (Fig. 21), nicht so viel Wasser verdunsten kann, als

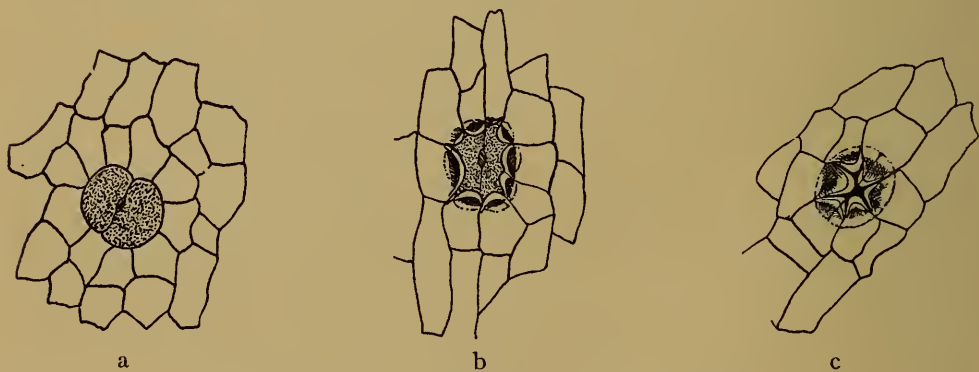


Fig. 21.

Schließzellen von *Orthotrichum*-Kapseln.

a phaneropor von *Orthotrichum leiocarpum*, b pseudophaneropor von *O. pumilum*,
c kryptopor von *O. stramineum*. Vergr. 210.

wenn sie frei und offen da liegt. Ob der Unterschied groß ist, will ich dahingestellt sein lassen. Nun liegt tatsächlich die Sache bei den *Orthotrichum*-Kapseln so, daß diese kryptoporen Spaltöffnungen bald enge, bald weite Vorhöfe, oft sogar an derselben Kapsel, haben. Überdies sind die *Orthotricha* mit phaneroporen Spaltöffnungen (Fig. 21a) genau so xerophytisch wie die andern. Überlegt man sich, daß man nach der Wahrscheinlichkeit gar nicht verlangen kann, daß die Haut überall gleichmäßig ausgebildet sei, so wird man es weniger erklärungsbedürftig finden, wenn die Schließzellen und die Epidermis nicht in der gleichen Ebene liegen, als wenn dies der Fall ist. In der Tat kommt es ebenso gut vor, daß die Schließzellen sich über die andern Zellen hervorwölben (Fig. 22), und zwar durchaus nicht gerade bei Moosen, die im Schatten wachsen. Eins der am leichtesten zu erreichenden Beispiele ist *Funaria hygrometrica*, die sich vor der prallsten Sonne nicht scheut. Man wird also die Tatsache, daß Spaltöffnungen bald über, bald unter der Kapsel-

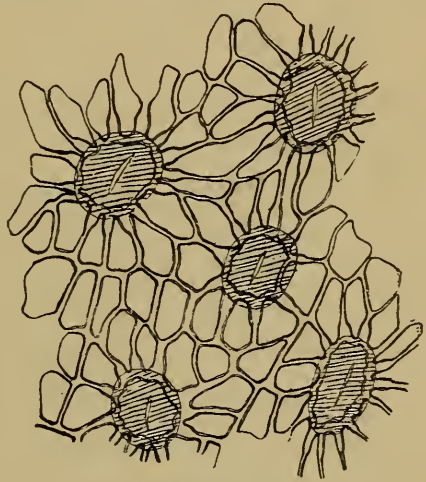


Fig. 22.

Schließzellen von *Funaria hygrometrica*,
die Oberhautzellen überwöl bend.
Vergr. 210.

oberfläche liegen, als eine von vornherein wahrscheinliche Sache ansehen können. Liegen sie nun tief, so ist es ja möglich, daß die Selektion sich dieses Verhältnisses bemächtigt und bei Xerophyten die phaneroporen Schließzellen mit der Zeit ausmerzt, wofür freilich *Orthotrichum* vorläufig wenig Aussicht hat, da gerade das phaneropore *Orthotrichum affine* die gemeinste Art ist. Wie dem nun auch sein mag; die vorgetragene Schlußfolge ist jedenfalls die gerade. Diejenige, die mit dem Nutzen als Untersatz beginnt, ist invers und läßt nebenbei ganz unberücksichtigt, daß viele Schließzellen ohne ersichtlichen Nutzen über ihre Nachbarn hinübergewölbt sind.

In derselben inversen Schlußfolgerung bewegt sich folgender Satz in einem interessanten Artikel über Bakterien im Mikrokosmos (3. Jahrgang, Heft 1): »Fragen wir nach dem Zwecke des Bakterienleuchtens, so können wir keine Antwort auf diese Frage geben. Ob es überhaupt einen »Zweck« hat für das Bakterium, für andere Organismen, ist uns völlig unbekannt.« Wie unberechtigt diese Fragestellung ist, wird sehr gut beleuchtet durch einen Ausspruch PÜTTER's (Leuchtende Organismen. Zeitschrift für allgem. Physiologie Bd. V), der von TROJAN (Das Leuchten der Schlangensterne) im Biol. Centralbl. vom 15. Mai 1908 (Bd. XXVIII No. 10) p. 347 mitgeteilt wird: »Die chemischen Vorgänge, die in den lebenden Objekten und ihren Produkten in so gewaltigem Umfange ablaufen, sind auch die Ursache des Organismenlichtes. Daß chemische Prozesse mit der Produktion der verschiedenartigsten Strahlengattungen einhergehen, ist dem Physiker nichts Auffälliges; im Gegenteil, wir müssen annehmen, daß bei jeder chemischen Reaktion Strahlen entstehen. Was das Phänomen der organismischen Luminiszenz erstaunlich macht, ist nur der Umstand, daß in diesem Falle die produzierten Strahlen innerhalb des sichtbaren Teiles des Spektrums liegen und die nötige Intensität haben, durch unser Auge wahrgenommen zu werden. Es ist also die Luminiszenz nur ein Spezialfall vieler ähnlicher Vorgänge und theoretisch nicht interessanter als diese, nur auffälliger für unsere Naturbetrachtung mit Hilfe des Auges.« (Im Original nicht gesperrt.) So geht es sehr häufig; das, was uns als Subjekt besonders interessiert, sehen wir auch als bedeutungsvoll für das Objekt an.

Wenn jemand fragt, zu welchem Zwecke eigentlich all das Ungeziefer da ist, so pflegen wir überlegen über den unphilosophischen Kopf zu lächeln. Ist denn aber unsere Zweckargumentation so viel besser? Man glaubt, sehr verständig zu argumentieren, wenn man nachweist, von welchem Nutzen ein Organ für den ganzen Organismus ist, und somit die Existenzberechtigung dieses Organs dartut. Und doch gibt es einen

Kampf der Teile im Organismus so gut wie einen Kampf ums Dasein in der belebten Welt, die man schließlich als einen Organismus höherer Ordnung auffassen kann. Nun könnte man es ja vielleicht noch hingehen lassen, wenn nur von Einrichtungen die Rede wäre, die zur Erhaltung des Individuums dienen. Aber man spricht eben so gut von Einrichtungen zur Erhaltung der Art. Welches Interesse hat das Individuum, der Träger solcher Einrichtungen, an der Erhaltung der Art, d. h. anderer Individuen? Ist daher die Frage nach dem Nutzen einer Einrichtung für die Erhaltung der Art viel verständiger als jene Frage nach dem Nutzen des Ungeziefers?

Eines der Mittel zur Erhaltung der Art soll bei höheren Pflanzen die Fremdbestäubung sein. Schon SPRENGEL sagt in seinem klassischen Buche über die Bestäubung der Blumen durch Insekten: Die Natur scheint eine Selbstbestäubung nicht haben zu wollen. Auf Grund derselben Annahme hat DARWIN Versuche gemacht, zu beweisen, daß Fremdbestäubung bessere Keimungsergebnisse ergibt als Selbstbestäubung. Nun sollen alle möglichen Einrichtungen der Blüten darauf hinauslaufen, »die Selbstbestäubung zu verhindern.« Wohl das allgemeinste Mittel zur Erreichung jenes »Zweckes« ist die ungleichzeitige Entwicklung der männlichen und weiblichen Organe an derselben Pflanze. Auch hier wird die kausale Folge auf den Kopf gestellt. Bleibt man auf dem Boden der Wahrscheinlichkeitsbetrachtung, so ist gar nicht einzusehen, warum Staubbeutel und Narben sich gleichzeitig entwickeln sollen, zumal an einem so locker gefügten Organismus wie die Pflanze. Das Wahrscheinlichste, also am wenigsten Erklärungsbedürftige, ist ungleichzeitige Entwicklung; gleichzeitige Entwicklung, die notwendige Bedingung für Selbstbestäubung, ist ein spezieller Fall, den man im allgemeinen nicht verlangen kann. Gerade die letztere ist also da, wo sie vorkommt, erklärungsbedürftig, nicht die Fremdbestäubung. Diese ist vielmehr eine notwendige Folge der Ungleichzeitigkeit der Entwicklung. Unter Berücksichtigung dieses Umstandes ist es auch verständlich, wenn Selbstbestäubungsversuche mangelhafte Resultate ergeben.

Denn man kann im allgemeinen nicht erwarten, eine Blüte gerade in dem Zustande zu treffen, daß sowohl Staubbeutel als auch Narben zur Befruchtung geeignet sind. Daß überhaupt Selbstbestäubung möglich ist, beruht darauf, daß vielfach die Brauchbarkeitsdauer der Narbe teilweise in die Brauchbarkeitsdauer der Pollenkörner hineinfällt, wie in der Gattung *Campanula*, wo schließlich die noch empfängnisfähigen Narben sich am Griffel hinabrollen, um den dort haftenden, noch brauchbaren Pollen aufzusammeln. Man sieht, wenn man die richtige Reihenfolge der Schlüsse herstellt, fällt die Zwecksuche aus dem Rahmen der Betrachtung heraus. Dabei ist es natürlich sehr gut möglich, daß durch Selektion die bereits vorhandenen Zeitunterschiede in der Reife der männlichen und weiblichen Organe so weit vergrößert werden, daß die Entwicklung des einen Geschlechts in der einen Blüte sich mit der des andern in der andern Blüte ungefähr deckt. Aber nur in diesem beschränkten Sinne ist die Selektionstheorie im Stande, eine »Zweckmäßigkeit« kausal zu erklären. Man beachte wohl, daß in dem angezogenen Falle durch die Selektion keine Mannigfaltigkeit geschaffen, sondern im Gegenteil eine vorhandene Mannigfaltigkeit verringert (nach DE VRIES ausgesiebt) wird. Damit kommen wir zur Besprechung des Mittels, durch das die inverse Schlußfolgerung angeblich in eine gerade verwandelt wird. Denn daß die Zweckerklärung der Kausalerklärung widerspricht, hat man natürlich lange gefühlt, ohne sich entschließen zu können, jene aufzugeben. Das Universalmittel sollte die Selektionstheorie sein. Von einer Form strahlen zahlreiche Formen aus, von denen die Selektion die unzweckmäßigen vernichtet, so daß die zweckmäßigen nachbleiben. Es ist schon von verschiedenen Autoren darauf aufmerksam gemacht worden, daß bei dieser Erklärungsweise doch die »zweckmäßigen« Formen schon vor dem Eingreifen der Selektion dagewesen sein müssen, also völlig unerklärt bleiben. Dennoch wird noch ziemlich allgemein an dieser *petitio principii* festgehalten. In der schönen Arbeit von PAUL über Rhizoidenbildung der Moose (Zur Bildung der Laubmoosrhizoiden, ENGLER's Botan. Jahr-

bücher 1903) finden sich neben einander die Bemerkungen, 1) daß Rhizoidenbildung durch das Wasser verhindert werden kann, 2) daß Rhizoiden sich nicht bilden, wenn die Moose sich gegenseitig stützen, so daß sie die Rhizoiden nicht nötig haben. Jeder Kundige sieht, daß das nur Beispiele für eine außerordentlich gebräuchliche Ausdrucksweise sind. Dabei ist nun Erklärung 1 streng kausal. Es bleibt nach ihr zu untersuchen, in welcher Weise das Wasser als Hemmungsfaktor in Betracht kommt, bzw. welcher rhizoidenbildende Faktor im Wasser ausgeschaltet wird, oder anders ausgedrückt: welche Zwischenglieder zwischen Anfangsursache und Schlußwirkung einzufügen sind. Das ist eine klare Basis, auf der weiter geforscht werden kann.

Erklärung 2 dagegen ist »final.« Man könnte sie auch indirekt kausal nennen, wenn man die Selektionstheorie als Hülfsklärung gelten lassen wollte. Aber es ist eben schon gezeigt worden, daß es sich dabei um eine *petitio principii* handelt. Denn die mit Rhizoiden gesegneten und die rhizoidenlosen Formen konnten nicht ausgelesen werden, bevor sie da waren.

Nun könnte man ja in der ganzen Betrachtung eine Haarspalterei sehen, wenn sich nicht weite Kreise mit der »finalen« Erklärung zufrieden gäben, indem sie so über unsere Unkenntnis des Zusammenhanges einen wohlthätigen Schleier breiten. Es ist merkwürdig: bei der Erklärung 1 wird sich kein Forscher beruhigen, sondern das Aufsuchen der Zwischenglieder anstreben. Bei der Erklärung 2 dagegen ist man schon gewohnt, die Sache als abgeschlossen zu betrachten und schließt den gähnenden Spalt mit der trügerischen Gletscherbrücke der Selektionstheorie. Bei Herrn Dr. PAUL bin ich allerdings nicht der Meinung, daß er sich mit dieser Erklärung zufrieden gibt.

Ein gutes Beispiel, wie sich die »finale« durch die kausale Erklärung ersetzen läßt, liefern gewisse Hochzeitfarben der Tiere, die man bekanntlich durch sexuelle Zuchtwahl zu »erklären« pflegt, die wie die natürliche Zuchtwahl nur Differenzen, nicht aber neue Werte schaffen kann. Während der Laichzeit befindet sich der

männliche Stichling in besonders starker Erregung; es ist also nicht wunderbar, wenn sein Stoffwechsel erhöht ist. Eins der Produkte desselben, das Guanin, scheidet sich in feinen Blättchen ab und schmückt so den Fisch mit den prachtvollen Interferenzfarben. Welchen vorausgegangenen chemischen Umsetzungen das Guanin seine Entstehung verdankt, muß in derselben kausalen Weise untersucht werden, wie sie überhaupt bei chemischen Untersuchungen bis jetzt noch ohne Zweckerklärung üblich ist. So gut wie nach dem Zweck der Farben des Guanins, so gut könnte man nach dem Zweck der Farben des Regenbogens fragen. So liegt also die Frage nach der Ursache der Hochzeitfarben des Stichlings auf dem Gebiete der physiologischen Chemie. Sind sie einmal da, so ist es ja möglich, daß sie dem Weibchen gefallen und nun Angriffsobjekt für die sexuelle Zuchtwahl bilden, wenn auch das Stichlingweibchen dazu vielleicht zu wenig Kunstverständnis hat. Aber der so erreichte »Zweck« ist jedenfalls etwas ganz Anderes als die Ursache, die das Hochzeitkleid hervorgerufen hat.

Es bleibt somit das einzig Richtige, die alte Kausalfolge streng festzuhalten, d. h. die drei Glieder: Ursache einer Organisation, die Organisation selbst und die Lebensäußerungen, die durch sie möglich werden, scharf von einander zu trennen. Das ist allerdings eine Forderung, die meist sehr viel mehr Arbeit in Aussicht stellt, als die selbstverständlich ebenfalls nötige Erforschung des Zusammenhanges zwischen dem Organ und dessen Funktion. Darin liegt aber vielleicht auch gerade der Schlüssel zu der Beliebtheit der Zweckerklärung. Denn, um das noch einmal hervorzuheben: die Hauptursachen der inversen Schlußfolgerung scheinen mir darin zu liegen, daß wir 1) vielfach und zwar gerade in den gewöhnlichsten Fällen (Schwimmen der Fische u. dgl.) zuerst die Funktion, dann die Organisation beobachten, 2) in der Regel früher zur Erkenntnis gelangen möchten, als der Stand der Wissenschaft und die aufgewandte Arbeit das erlauben.

Nach dieser allgemein logischen Betrachtung sind aber noch andere Ausstellungen an der Zweckerklärung zu machen. Zunächst wird man meist finden, daß die Zweckerklärungen für

den einzelnen Fall gemacht werden, sodaß mehrere Fälle Widersprüche ergeben können. Sodann wird bald das Vorhandensein, bald das Fehlen desselben Organs für zweckmäßig erklärt, so daß man wirklich nicht einsieht, wie es die Natur eigentlich anfangen soll, die Organisation unzweckmäßig zu gestalten. Es geht eben mal so, mal auch anders. Ferner muß verlangt werden, daß das Organ, dessen Zweckmäßigkeit behauptet wird, auch wirklich für den Zweck erforderlich ist, d. h. daß ohne das »zweckmäßige« Organ die betreffenden Lebensäußerungen sich nicht abspielen können. Sonst braucht man ja den Zweck zur Erklärung nicht. Schließlich darf das zweckmäßige Organ nicht schon in allgemeinen Wachstumsgesetzen seine Erklärung finden; sonst kann auf keinen Fall der Nutzen als Ursache angesehen werden.

Wir wollen daraufhin die Teile des Sporogoniums noch einmal einer Prüfung unterwerfen. Da finden wir nun zunächst, daß bei einigen Moosen die Länge, bei andern die Kürze der Seta als zweckmäßig angesehen wird. Daß der Stiel nicht immer die gleiche Länge hat, ist das von vornherein Wahrscheinliche, also nicht erklärungsbedürftig. Andererseits ist es verständlich, daß, wenn Moose verschiedener Stiellänge an dieselbe Lokalität gelangen, die mit ungeeigneter Stiellänge zu Grunde gehen. Auf diese Weise ist aber die geeignete Stiellänge nicht durch die Lokalität erzeugt worden, sondern als allein konkurrenzfähig übrig geblieben. Ihre Ursache wäre also anderweitig festzustellen. Tatsächlich liegen die Verhältnisse aber ganz anders. Sowohl auf horizontalen wie vertikalen, auf trocknen und auf feuchten Lokalitäten kommen Seten von allen möglichen Längen vor. Neben kurzstieligem *Phascum* wächst hochstieliges *Bryum* auf ebener Erde, ebenso neben *Schistidium apocarpum* *Tortula muralis* an senkrechten Wänden, neben *Sphagnum* *Hypnum fluitans* im Wasser. Der Zweck wird also von Fall zu Fall vom Menschen hineingelegt. Zweckmäßig erscheinen ferner die Torsionen der Seta, insofern sie die Amplitude der Sporenausstreuerung vergrößern. Zunächst ist auch hier zu bemerken,

daß die Ursachen der Torsion, nämlich ein elliptischer Querschnitt und die verschiedene Wasserempfindlichkeit in den beiden Achsen der Ellipse, viel weniger erklärungsbedürftig sind als ein spezieller genau kreisförmiger Querschnitt mit gleichförmiger Hygroskopizität. Die großen Differenzen der Wasserabgabe mögen ja gern auf Rechnung der Selektion zu setzen sein; es ist aber, wie SEMPER für andere Objekte schon vor langer Zeit ausführlich auseinander gesetzt hat, zu bemerken, daß die Selektion erst angreifen konnte, wenn schon nutzbringende Differenzen da waren. Übrigens ist für das Musterbeispiel *Funaria* bei dem Fehlen einer Gegenprobe der große Nutzen noch gar nicht so ausgemacht. Wenn irgendwo gebaggert wird, so sieht man oft auf dem Baggerplatze viele Quadratmeter sich mit *Funaria* bedecken. Woher die Sporen stammen, läßt sich nicht sagen, jedenfalls nicht aus solcher Nähe, daß man die Torsionen der Seta dafür verantwortlich machen könnte. Wenn aber einmal die Pflanzen von der großen Fläche Besitz ergriffen haben, dann sieht man auch wieder kaum, welchen Nutzen der Ausstreuungsradius von einigen Zentimetern haben könnte, es sei denn, daß die Sporen so leichter eine Beute des Windes werden möchten. Es ist aber schwer einzusehen, warum die Sporen nicht ebenso gut so vom Winde erfaßt werden können, da sie doch so leicht sind, daß sie auf viel größere Entfernungen entführt werden. Ein klarer Nutzen ist in der Praxis kaum zu erkennen. Schließlich ist zu bemerken, daß *Physcomitrium pyriforme*, dessen birnförmige, des Mundbesatzes ganz entbehrende Kapsel aufrecht auf steifem Stiele steht, ähnlich wie *Funaria* von großen Flächen auf Baggerplätzen Besitz ergreifen kann.

Wir kommen nun zu den raffinierten Einrichtungen an der Kapsel und deren Teilen. Sie sind ja zweifellos bewundernswürdig und ein schönes Beispiel der staunenswerten Mannigfaltigkeit in der Natur. Aber erstens dürfen wir nicht vergessen, daß das, was wir bewundern, nicht auch für die Objekte von großer Wichtigkeit zu sein braucht, wie sehr hübsch durch die S. 120 zitierten Äußerungen PÜTTER's dargetan wurde. Zweitens

finden sich diese schönen Einrichtungen bei einer großen Zahl von Moosen nicht, und — es geht auch so. Da wird nun zunächst als allgemeines Prinzip hervorgehoben, daß eine allmähliche Ausstreuung der Sporen erforderlich sei. Dieser Grundsatz wird leider von vielen Kleinmoosen durchbrochen, die durch höchst kunstloses Zerreißen ihrer Kapselwand den ganzen Sporenvorrat auf einmal ausschütten. Eine Anzahl dieser Moose hat verhältnismäßig große Sporen, *Archidium* sogar so große, daß die ganze Kapsel schon von wenigen (höchstens 28) gefüllt wird, die sich gegen einander abplatten. Daraufhin hat man dann die Hülfshypothese aufgestellt, daß die Moose mit wenigen Sporen die langsame Ausstreuung nicht nötig hätten, eine Hypothese, die nur gemacht ist, um die andere wankende zu stützen und die eben so wenig Beachtung verdient wie etwa der Satz: ein großes Vermögen muß sparsam verwaltet, ein kleines darf verschleudert werden. Daß nun bei vielen Moosen die Sporenausstreuung successive erfolgt, ist unbestreitbar, nur die Deutung der Notwendigkeit, die man dieser Tatsache beilegt, wird durch *Archidium*, *Ephemerum* und Genossen gegenstandslos gemacht. Eben so wenig sieht man einen zwingenden Grund für die mannigfachen Furchen der Urnenwand. Natürlich wird durch das Zusammenfallen der Urne deren Volumen beträchtlich verringert und so ein Teil der Sporenmasse hinausgetrieben. Aber erstens geschieht das bei vielen Moosen auch ohne Furchen durch gleichmäßige Kontraktion der Urnenwand. Zweitens sind Ungleichmäßigkeiten (durch welche Furchungen entstehen) beim Zusammenziehen der Kapsel viel weniger erklärungsbedürftig als ein allgemein gleichmäßiges oder ein regelmäßiges Verhalten. Erklärungsbedürftig sind eher die glatten Kapseln und noch mehr solche, bei denen symmetrisch angeordnete Furchen auftreten, wie die von *Orthotrichum*. Aber hier gerade versagt die Erklärung durch den Nutzen völlig; denn es ist für die Austreibung der Sporen offenbar ganz gleichgültig, ob die Faltung der Urne nach symmetrisch verteilten oder nach unregelmäßigen Furchen erfolgt.

Betrachten wir nun die oft so überaus zierliche Einrichtung des Mundbesatzes. Es sind zwei Merkmale desselben, die in hervorragendem Maße unsere Bewunderung erregen, das Hin- und Widerspiel in der Bewegung der Zähne und die große Regelmäßigkeit im Bau. Über die Bewegungen der Zähne ist ähnliches zu sagen wie über die Torsion der Seta. Sie sind nur dann bemerkenswert, wenn ihr Ausschlag besonders groß ist. Da das Peristom aus zwei Zellagen besteht, so würde es eine höchst speziellé Forderung sein, wollte man verlangen, daß die Wasserempfindlichkeit des Peristoms auf der Außen- und Innenseite dieselbe sein sollte. Da nun also Spannungsunterschiede von vornherein wahrscheinlich sind, so sind es auch die Bewegungen. Ja man kann nicht einmal erwarten, daß die Axen, um die sich die beiden an einander haftenden Lamellen drehen, parallel sind. Infolgedessen werden die Drehungen der Zähne im allgemeinen nicht genau in einer Ebene erfolgen. Die Abweichung davon wird der Beobachter ohne genaue Messungen natürlich erst bemerken, wenn sie beträchtlich ist. Das ist zum Beispiel bei der von PFAEHLER genau beschriebenen *Tayloria splachnoides* der Fall. Die Richtung der Spannung erkennt man bereits an der Streifung. Diese verläuft an den Zähnen der *Tayloria* innen quer, außen bildet sich ein Winkel von 45^0 mit der Horizontalrichtung. Daher »möchte sich« die Außenlamelle nach der Seite rollen, die Innenlamelle dagegen in der Richtung des Urnenmundradius. Die Resultante ist eine spiralige Drehungsebene, so daß die Zähne sich tatsächlich wie Korkzieher aufrollen. Die an und für sich selbstverständliche Ungleichheit der Außen- und Innenlamelle beruht also auf allgemeinen Wachstumsgesetzen, die mit der Zweckmäßigkeit in der Sporenausstreuung nichts zu tun haben, wie es in entsprechender Weise für das ähnliche Verhalten der Seta gilt. Dabei ist es natürlich sehr wohl möglich, daß bereits vorhandene Differenzen vergrößert werden, ein Vorgang aber, bei dem wegen der Vernichtung des Ungeeigneten unter allen Umständen die Mannigfaltigkeit geringer werden muß.

Was uns aber gewiß am meisten zur Betrachtung der Peristome reizt, ist die große Regelmäßigkeit. Diese hat aber offenbar mit dem zu erreichenden Zwecke gar nichts zu tun, sondern beruht erst recht allein auf Wachstumsgesetzen. Gerade ein Moos wie *Ceratodon purpureus*, dessen Sporenausstreuerung nach dem relativ einfachen Typus der aufrechten, gestreiften (Längsfaltung der Urne) Kapseln mit einfachem schmalzahnigen Mundbesatz erfolgt, schlägt neben der *Funaria* mit ihrer verwickelten und »fein berechneten« Peristommechanik den Rekord hinsichtlich der Verbreitung. Wir sehen also, wie sich die richtige Kausalfolge aufrecht erhalten läßt: Gründe, die mit dem Zweck nichts zu tun haben, die freilich meist noch zu erforschen sind, bestimmen die Form der Organisation, die dann wieder die Funktion bestimmt, entweder allein oder unter Mitwirkung äußerer Faktoren. Immer handelt es sich um zwei Kausalzusammenhänge, von denen der Biologe nur den letzteren aufdeckt. Das ist selbstverständlich außerordentlich lehrreich; man muß nur nicht glauben, zwei Fliegen mit einer Klappe geschlagen zu haben.

Die Verschiedenheit der Innen- und Außenseite des Ringes ist natürlich eben so zu beurteilen wie die entsprechende Verschiedenheit beim Peristom. Daß die beiden Organe überhaupt da sind, ist natürlich eine höchst wunderbare Sache. Wir dürfen aber nicht vergessen, daß das eigentlich Wunderbare dabei die schon oben besprochene große Regelmäßigkeit ist, die wohl niemand auf den Zweck beziehen wird. Über unregelmäßige Risse würden wir uns nicht wundern; und doch wird, wie die Beispiele zeigen, durch sie dasselbe erreicht, wie mit dem künstlichen Peristomaufbau. Daß weder Ring noch Peristom nötig sind, zeigen die zahlreichen Beispiele, in denen sie fehlen. Objektiv ist ja auch jener künstliche Aufbau nicht mehr wert als die einfache Form; es ist unsere subjektive Wertschätzung, die ihn höher stellt. Das vergessen wir nur zu leicht, und darum wundern wir uns, wenn ein komplizierter Bau, dessen raffinierte Zweckmäßigkeit wir erkannt zu haben glauben, ohne den erwarteten Erfolg bleibt. Die Bestäubungseinrichtungen der Orchideen ge-

hören zu den »verschmitztesten«, die es gibt; und wie mäßig ist es mit der Verbreitung vieler Orchideen bestellt, unter denen manche zu den größten Seltenheiten gehören. Und wer schlägt den Rekord? Pflanzen, deren Bestäubungsvorrichtungen relativ einfach sind, wie Compositen und Dolden. Und zu den allergemeinsten Pflanzen gehören gar solche, die auf den ganzen Bestäubungszauber fast oder ganz verzichtet haben, wie *Ficaria*, die trotz ihrer prächtigen Blüten sich lieber durch kleine abfallende Knospen vermehrt.¹⁾ Noch verblüffender ist die seit einiger Zeit bekannte Tatsache, daß es dem ja so außerordentlich häufigen und dabei so auffallenden *Taraxacum officinale* gelingt, ohne jede Befruchtung, also parthenogenetisch, keimfähige Samen zu erzeugen. Befreit man das noch geschlossene, also im Knospenzustand befindliche Köpfchen des Löwenzahns durch einen Querschnitt ziemlich nahe über dem Blütenboden von sämtlichen Staubbeuteln und Narben, so entwickeln sich dennoch reife Früchte, die sich von den normalen nur dadurch unterscheiden, daß ihr Pappus meist gestutzt ist. Durch Aussaat solcher Früchte erzielte Herr Prof. KLEBAHN in unserm Botanischen Institut gut entwickelte Keimpflanzen, die er uns in einer Sitzung der Botanischen Gruppe demonstrierte. Er hat allerdings die Entwicklung der Pflänzchen nicht bis zur Blüte verfolgt, da die Sache selbst nicht mehr neu und er überdies mit anderen Arbeiten beschäftigt war. Man sieht also, daß *Taraxacum* der ganzen Bestäubung und somit auch der durch die »Nützlichkeit« der Fremdbestäubung zu »erklärenden« Proterandrie und Griffelbildung nicht unbedingt bedarf. Wo bleibt da aber der Zweck? Oder »gelingt« es der Natur bei den Orchideen oft »vorbei«? Daß die Notwendigkeit der langsamen Sporenausstreuerung durch zahlreiche Kleinmoose widerlegt wird, wurde oben gezeigt. Das Gleiche gilt für die Einrichtungen zur Unterstützung der Zerstreung. Zweckmäßiger Weise müßten

¹⁾ Man vergleiche hierzu:

H. LÖFFLER: Über verschiedene *Ficaria*-Arten und über die Fortpflanzung bei *Ficaria verna* HUDS. Verhandlungen dieses Vereins, 3. Folge XIII (1905) p. 8—25.

die Kapseln mit großen Sporen auf hohen Stielen stehen und Schleudervorrichtungen besitzen, damit sie besser vom Winde fortbewegt werden könnten. Das Gegenteil ist aber der Fall. Warum aber gerade solche Sporen wie die von *Tayloria splachnoides*, die bei ihren 0,014—0,018 mm Durchmesser ohnehin sehr leicht verstäuben, noch eigens durch die Peristomzähne auf eine beträchtliche Entfernung weggeschleudert werden müssen, ist nicht recht einzusehen. Ja, die ganze Sporenerzeugung erscheint nicht unbedingt notwendig, wenn man bedenkt, daß zahlreiche Moose von ihr wenig Gebrauch machen, ja daß von manchen Moosen die Kapseln überhaupt noch unbekannt sind. Und doch erfreuen sich solche Moose oft in ausgezeichneter Weise ihres Daseins. *Campylopus flexuosus* und *turfaceus* überziehen bei uns ganze Moor- und Heideflächen; es gehört aber immer ziemliches Glück dazu, ihre Kapseln aufzufinden. *Dicranum undulatum* und *Hypnum crista castrensis* überziehen oft viele Quadratmeter im Zusammenhange auf dem Boden der Nadelholzwälder; aber ihre Früchte sind selten.

Schreibt man den Naturvorgängen eine Zielstrebigkeit zu, so muß man sich wundern, auf wie langem Umwege oft das Ziel erreicht oder auch nicht erreicht wird. Zweihäusige Moose fruchten oft äußerst selten, weil der gegenseitige Verkehr gar zu sehr erschwert worden ist, warum sind sie nicht einhäusig oder zwittrig, da doch derartige Moose meist reichlich Frucht tragen? Die verzögerte Sporenausstrauung wird offenbar recht einfach erreicht, wenn die Kapsel auf steifem Stiel aufrecht steht und eine nicht zu große Urnenöffnung hat. Dann genügen kleine Windstöße und Erschütterungen durch Insekten, um die von der schrumpfenden Urne emporgeschobenen Sporen in kleinen Mengen hinauszubefördern. Schutz gegen Regen ist bei mäßig großer Urnenöffnung auch nicht nötig. Es gibt Moose genug, die nach diesem einfachen Schema arbeiten. Statt dessen wird in vielen Fällen erst die Kapsel nickend gemacht. Da nun aber die Gefahr vorliegt, daß der Sporenvorrat auf einmal herausfällt, wie bei *Archidium*, *Physcomitrella* (Fig. 23) und Genossen, so



Fig. 23.

Physomitrella patens.

Vergr. 12.

muß eine verwickelte und äußerst mannigfaltige Vorrichtung angebracht werden, die bald als Sieb (*Polytrichum*), bald als Verschuß wirkt (*Bryum*), dann aber auch ihre Arbeit tun muß, um die Sporen, die nicht von selbst hinaus wollen, in tatkräftiger Weise an die Luft zu setzen. Gerade die erwähnte Mannigfaltigkeit ist es ja, die bei einer Zwecksetzung ganz unberücksichtigt bleibt. Wenn der eine Zweck die Einrichtungen bewirkt hat, warum ist dann

nicht jede Kapsel nach dem einfachen Schema von *Pottia* oder *Hymenostomum* gebaut, von denen das letztere die Verzögerung durch ein Diaphragma erreicht, das den Urnenmund verschließt und bei der Reife durch Schrumpfung einreißt? Will man aber annehmen, daß dies eine Agens in verschiedenen Fällen verschieden gewirkt hat, dann setzt man die Mannigfaltigkeit, die man erklären möchte, bereits voraus. Dann beziehe man aber lieber gleich die Mannigfaltigkeit der Formen auf die Mannigfaltigkeit der Existenzbedingungen, d. h. der »*causae efficientes*«, die man mit Hilfe der Morphologie und Physiologie, nicht der »Ökologie« zu ergründen suchen muß.

Das ist natürlich eine endlose Arbeit der eingehendsten Spezialforschung, deren großer Wert zum Teil gerade darin liegt, daß sie imstande ist, allzu kühn vorwärts schreitende Theorien in den Schranken zu halten. Umfassenden Theorien haftet notwendiger Weise der Mangel an, daß ihr Autor nicht mit allen Einzelfällen, die durch sie zusammengefaßt werden sollen, in gleicher Weise vertraut sein kann. Da ist es denn gut, wenn der Spezialist Kritik übt. Denn das Gebäude einer Theorie unterscheidet sich von einem architektonischen Kunstwerk ganz wesentlich. Bei letzterem ist das Material der Form untergeordnet, und man darf überflüssige Bausteine weglassen. Bei ersterem aber ist es umgekehrt. Werden neue Bausteine gefunden, so hat ihnen sich das System anzupassen und muß erforderlichen

Falles eines einzigen widerspenstigen Bausteines wegen von Grund aus umgearbeitet werden. Das ist natürlich immer schmerzlich und erfordert große Selbstüberwindung; und die Fälle dürften selten sein, daß ein Forscher schließlich seine eigene Theorie für unhaltbar erklärt hat. Aber um so mehr ist immer und immer wieder nüchterne Betrachtung des Materials sowohl als auch der Schlüsse notwendig, die eine Theorie stützen. Denn wir haben nicht die Welt zu machen, wie es uns paßt, sondern wir sollen das Wenige davon, was unserer Beobachtung zugänglich ist, zu erkennen suchen.

Sachregister.¹⁾

(Die nachstehenden Ziffern bedeuten die Seitenzahlen.)

- | | |
|---|--|
| <p><i>Annulus</i> 111 f., 129
 Apophyse 88, 91
 <i>Archidium</i> 99, 127
 Art, Erhaltung der 121
 Bakterien, Zweck ihres
 Leuchtens 120
 <i>Barbula</i> 102 f.
 <i>Bartramia</i> 92
 Blasebalg 98
 <i>Borragineen</i> 90
 <i>Bryum</i> 91, 125, 132
 — Sporenausstreuerung 107ff.
 — <i>turbinatum</i> 92
 <i>Buxbaumia</i> 98
 <i>Campylopus</i> 90
 — <i>brevipilus</i> 118
 — <i>flexuosus</i> 90, 131
 — <i>turfaccus</i> 131
 <i>Catharinaea</i> 100 f.
 <i>Causae efficientes</i> 116
 — <i>finales</i> 116
 <i>Ceratodon</i> 86, 90
 — , weite Verbreitung des-
 selben 129
 Cilien bei <i>Orthotrichum</i> 106
 <i>Cinclidotus</i> 103
 <i>Cladodium</i> 109
 <i>Columella</i> 85, 94 ff.</p> | <p><i>Conostomum</i> 92
 <i>Coscinodon</i> 103 f.
 <i>Crossidium</i> 86, 102 f.
 Deckel 94, 97
 Diaphragma 100
 <i>Dicranella</i> 90
 <i>Dicranoweisia</i> 90
 <i>Dicranum</i> 86, 131
 <i>Didymodon</i> 102
 <i>Diphyscium</i> 98
 <i>Dissodon</i> 94
 <i>Ditrichum</i> 86
 <i>Drepanocladus</i> 87
 <i>Dryptodon</i> 103
 Einhäusige Moose 131
 Endostom 105 ff.
 Endursachen 116
 <i>Entosthodon</i> 86
 <i>Ephemerum</i> 99, 127
 Erhaltung der Art 121
 <i>Eubryum</i> 107 f.
 Exostom 105 ff.
 Exostomzähne, Drehung der
 107
 <i>Ficaria</i> 130
 Flaschenmoose 88
 Fliegen als Sporen-
 verbreiterinnen 95</p> |
|---|--|

¹⁾ Nomenklatur abgesehen von ganz wenigen, belanglosen Fällen nach WARNSTORF's Laubmoosflora der Provinz Brandenburg, bei außerdeutschen Moosen nach LIMPRICHT.

Fontinalis 87, 105
 Fremdbestäubung 121 f.
 Fruchtsiel 85 ff.
Funaria 86 f., 89, 92, 119, 126
 — , Sporenausstreuung 109 ff.
 Gitter 103 ff.
 Gliederfüßer 116
Grimmia 86, 90, 103 f.
 Guanin 124
 Haare 118
 Hals 88, 91
 Hochzeitfarben 123 f.
Hymcnostomum 132
Hymcnostylium 94, 104
Hypnaceen 107
Hypnum 125, 131
 Kapsel 84, 126 f.
 Kapselwand, Kontraktion der
 94 f., 97
 Kausalfolge 124
 Kleinmoose 97, 127
Labiaceen 90
 Leuchtende Organismen 120
 Maulwurf 116
Meesa 86 f.
Mnium 107
 Mundbesatz 85, 128 f.
 — , doppelter 105 ff.
 — , einfacher 99 ff.
 — , Regelmäßigkeit des-
 selben 128 f.
 Nützlichkeitstheorie als heuristi-
 sches Prinzip 117
Orchideen 130

Orthotrichum 86, 92 f., 105 ff.,
 118 f., 127
 — *anomalum* 106
 — *affine* 119
 — *cupulatum* 106
 — *leiocarpum* 93
 — *nudum* 106
 — *rupestre, speciosum* 107
 — *stramineum* 106
 — *Sturmii* 107
 Peristom 128 f.
 — , doppeltes 105 ff.
 — , einfaches 99 ff.
 — , Regelmäßigkeit des-
 selben 128 f.
 Petitio principii 122 f.
Phascum 99, 125
Philonotis 92
Physcomitrella 131
Physcomitrium
 — *eurystomum* 91, 94
 — *pyriforme* 86, 126
 — *sphaericum* 86
Pleuridium 86
Pogonatum 100 f.
Polytrichaceen 100
Polytrichum 87, 93, 100 f.
Pottia 86, 92, 94, 104
Pottiaceen 102
Rhaconitrium 86, 103
 Rhizoidenbildung 122 f.
 Ring 111 f., 129
Schistidium 103 f., 125
 Schließzellen 118 f.

- Schlußfolge, gerade und inverse
115, 121 ff.
- Selbstbestäubung 121 f.
- Selektion 119, 122, 128
- Selektionstheorie 122 f.
- Seta 85 ff., 125 f.
- Sieb 101
- Skorpion 115
- Spaltöffnungen 118 f.
- Spezialforschung, Wert der 132
- Sphagnum* 87, 125
—, Sporenausstreuerung 97
- Spindel s. Columella.
- Splachnaccen* 88
- Splachnum* 86, 88, 92, 95 f.
— *ampullaceum* 88, 92, 95
— *luteum* 88
— *rubrum* 88, 95
- Sporen 127
—, Größe derselben 99, 127, 131
- Sporenausstreuerung,
—, plötzliche 99, 127
—, verzögerte 90, 127
- Sporenerzeugung nicht
nötig 131
- Sporogonium, Hauptteile 84 f., 125
- Stichling 124
- Streubüchse 101
- Taraxacum*, parthenogenetisch
erzeugte Früchte 130
- Tayloria* 96, 128, 131
- Tetraplodon* 88, 96
- Tortula* 86, 102 f., 125
- Trichostomum* 102
- Ulota* 92 f.
- Urne 91 ff.
- Urnenwand, Falten derselben
91, 127
- Ursachen, wirkende 116
—, End- 116
- Verzögerung der Sporen-
ausstreuerung 90
- Wimpern 85
bei *Bryum* 108
» *Orthotrichum* 106
- Zuchtwahl, sexuelle 123
- Zweckerklärung, Ursachen der
113, 124
- Zweihäusige Moose 131
- Zwittrige Moose 131

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen des Naturwissenschaftlichen Vereins in Hamburg](#)

Jahr/Year: 1910

Band/Volume: [17](#)

Autor(en)/Author(s): Timm Rudolf

Artikel/Article: [Die Ausstreuung der Moossporen und die Zweckmäßigkeit im Naturgeschehen 84-136](#)