

Funaria hygrometrica.

Ein Moosleben in Wort und Bild.

Von P. JANZEN in Eisenach.

Mit 26 Abbildungen im Text.



„Natur- und Kunstwerke lernt man nicht kennen, wenn sie fertig sind; man muß sie im Entstehen aufhaschen, um sie einigermaßen zu begreifen.“

GOETHE. 1803.

niemand wird es Freunden der Mooskunde verargen, wenn sie nach Beziehungen zu dem Dichterfürsten und großen Naturforscher suchen, die auf ihre Lieblingswissenschaft einen verklärenden Schein zu werfen geeignet sind. In „Herrn Mammons erleuchtetem Palast“ erkennen sie (ob mit Recht, sei dahingestellt) eine Anspielung auf den magischen Schimmer des Leuchtmooses; er mußte es kennen und wird daraufhin kühn unter die Bryologen eingereiht. Sicher war GOETHE auch auf diesem Gebiet mehr zu Hause, als die meisten Zeitgenossen, dafür bürgt er selber. „Hier zeigte sich die ganze Sippschaft der Moose in ihrer größten Mannigfaltigkeit“, so erzählt er in seiner Metamorphose der Pflanzen. Derselbe vorausschauende Geist, der diese grundlegende Schrift durchweht, bekundet sich auch in obigen einem Brief an ZELTER entnommenen Worten; unzweideutig weisen sie auf eine Wissenschaft hin, die sich erst Jahrzehnte später zur vollen Bedeutung entfalten sollte: die Entwicklungsgeschichte.

Rüstig wurde in seinem Sinn gearbeitet und die Moosforscher standen nicht in letzter Reihe. Sie legten die Ergebnisse ihres Fleißes in zahlreichen Schriften nieder, und es fanden sich geschickte Meister, die die zerstreuten Bausteine sammelten, um sie zu einem einheitlichen Bau zusammenzufügen. Der spröde Stoff formte sich unter den Händen des einen zum Stammbaum mit Zweigen eigener Art; ein anderer schuf ein Mosaikbild, in dem man noch jedes Steinchen erkennt; eine dritte Darstellungsweise ist die Einzelbeschreibung. Sie beschränkt sich, während jene die ganze Vielseitigkeit der Formen berück-

sichtigen und durch die Fülle des Gebotenen leicht verwirrend wirken, auf kleinere Gruppen oder greift bestimmte Entwicklungszustände heraus. Der angehende Bryologe, in der Regel sein eigener Lehrer, findet sich da schwer zurecht, und selbständige, vergleichende Beobachtungen werden ihm noch dadurch erschwert oder unmöglich gemacht, daß man wichtige Lebensvorgänge an Pflanzen erläutert, die in frischem Zustande für ihn nicht erreichbar sind. Wer die Welt der Laubmoose aus eigener Anschauung kennen lernen will, ist aber keineswegs gezwungen, in die Ferne zu schweifen, was er braucht, bietet ihm seine Umgebung in Hülle und Fülle; nur wähle er anfangs Arten, die sich leicht kultivieren lassen. Also nicht etwa Torfmoose, deren Sporenkeimung allein die Geduld für Monate in Anspruch nimmt, sondern Überallwohner, wie sie die Gattungen *Bryum*, *Ceratodon*, *Funaria*, *Grimmia*, *Hypnum* u. a. zur Genüge aufweisen.

Bruchstücke aus dem Lebenslauf des einen oder anderen findet man in jedem einschlägigen Werk, nirgend einen vollständigen Entwicklungsgang. Einen solchen zu beobachten und zusammenhängend zu schildern, mußte eine dankbare, wenn auch mühsame Aufgabe sein. Der Verfasser hat sie zu lösen versucht und sich dafür zwei Richtlinien gezogen; es sollte

1. ein Kulturverfahren gefunden werden, das die Entwicklung und ständige Beobachtung einer Moospflanze von der Sporenkeimung bis zur Kapselreife ermöglicht,
2. durch fortlaufende Beobachtungen jeder Entwicklungsstufe und jedes einzelnen Organs ein lückenloses Lebensbild der Pflanze gewonnen werden.

Als Versuchspflanzen dienten *Funaria hygrometrica* und *Hypnum cupressiforme*.

Der erste Teil der Aufgabe wurde für *Funaria* mit bestem Erfolg erledigt; es ist darüber im Folgenden ausführlich berichtet. Für die Kulturrasen des *Hypnum* mußte, da sie auf der dort erwähnten Erdmischung verkümmerten, eine andere Unterlage erdacht werden. Versuchsweise wurden sie auf den Hirnschnitt einer *Salix* übertragen, wo sie sich zwar erholten, indessen so langsame Fortschritte machten, daß sie hier nicht weiter Berücksichtigung finden konnten.

Ob der zweite Teil in befriedigender Weise gelöst ist, möge der Leser entscheiden. Ich habe mit Lust und Liebe daran gearbeitet, jede Entwicklungsstufe des Moores selbst beobachtet, beschrieben und gezeichnet, Messungen und chemische Versuche ausgeführt, ältere Angaben zum Vergleich herangezogen, bin mir aber der Unzulänglichkeit der Darstellung wohl bewußt.

Die Untersuchungen wurden bei höchstens 600facher, in der Mehrzahl bei 240 bis 300facher Vergrößerung, die Schnitte aus freier Hand, die Zeichnungen ohne Apparat ausgeführt. Der Zellinhalt ist meistens nur angedeutet oder ganz fortgelassen. Zu den Messungen benutzte ich ein Okularmikrometer.

Dem Fachbryologen werden diese Blätter wenig Neues bieten. Wenn aber hier und da ein jüngerer Moosfreund durch das gleichsam kinematographisch vorgeführte Bild eines unserer schönsten Laubmoose zu ähnlichen Versuchen angeregt werden sollte, so wäre der Zweck ihrer Veröffentlichung erfüllt.

Geschichtliches. — Ein so allgemein verbreitetes, durch seine Zierlichkeit auffallendes Pflänzchen, wie die *Funaria hygrometrica*, mußte schon früh die Aufmerksamkeit der Pflanzenkundigen auf sich lenken und in der Tat war sie neben *Polytrichum* schon OTTO BRUNFELS 1537¹⁾, dem Vater der Botanik, DODONAEUS (1583) und anderen bekannt. Ob das, was LEONHARD FUCHS (1542) als „Minus *Polytrichum* Apuleji“ benannt, *Funaria* ist, läßt sich nach einer Pause, die ich der Freundlichkeit des Herrn Professor HARTWICH in Zürich verdanke, schwer entscheiden; *Pogonatum nanum* kann es kaum sein, da jede Andeutung einer behaarten Haube fehlt. LINNÉ brachte die Pflanze bei der Gattung *Mnium* unter, und wenn sich hier die Anschauungen wiederholt änderten, so blieb doch sein Artname bestehen, der so anschaulich das Verhalten des Fruchtsiels ausdrückt. Bei SCOPOLI ein *Bryum*, erschien unser Moos 1782 in HEDWIGS Fundamentum als *Koelreutera*, durch treffliche, zum Teil stark vergrößerte Abbildungen erläutert, um endlich 1794 durch SIBTHORP den heute noch gebräuchlichen Gesamtnamen zu erhalten²⁾. SCHWÄGRICHENS *Entosthodon* hat sich ebensowenig eingebürgert, wie HAMPES *Amphoritheca*, wurde aber neuerdings (1903) durch BROTHERUS als Untergattung mit *Eufunaria* vereinigt, so daß die Gattung *Funaria* nun im ganzen 168 Arten umfaßt.

Unter diesen ist die *hygrometrica* die bekannteste. Sie findet sich in allen Weltteilen, in der Ebene wie im Gebirge, und ist mit jeder Unterlage zufrieden, gedeiht aber besonders in Gärten, auf Wiesen, öden Plätzen, in Mauerspaltten, zwischen dem Pflaster einsamer Straßen und massenhaft auf verlassenen Meilerstätten, kurz, sie folgt mit Vorliebe den Spuren menschlicher Kulturtätigkeit. Weil sie außerdem fast das ganze Jahr hindurch mit Früchten in den verschiedensten Reifezuständen anzutreffen ist³⁾, und zu den höher entwickelten Formen gehört, haben sich die Bryologen von jeher viel mit ihr beschäftigt und sie bei ihren Forschungen bevorzugt. Nach RÖLL lieferte 1762 HILL durch Aussäen von *Funaria*-Sporen den ersten, versuchsmäßigen Beweis, daß aus ihnen neue Pflanzen hervorgehen. 20 Jahre später folgten HEDWIGS Bilder und Beschreibungen der Sporen, Keimpflänzchen, Blüten und Kapseln, und in neuerer Zeit wurden wiederholt Einzelheiten aus der Entwickelungs-

1) Nach K. G. LIMPRICHT. — Da B. schon 1534 starb, kann nur sein 1532—37 erschienenes Contrafayt Kräuterbuch gemeint sein.

2) Der von *funis* abgeleitete SCHREBERsche Gattungsname besagt wenig, denn gedrehte Kapselstiele haben noch viele andere Moose.

3) Vergl. das Gruppenbild auf Seite 1.

geschichte dieses Mooses behandelt, um als Typen für den Aufbau der *Bryales* zu dienen. So besonders in CAMPBELL'S „The structure and developement of the Mosses and Ferns (1895)“ und in dem noch nicht abgeschlossenen Werk „Die natürlichen Pflanzenfamilien von A. ENGLER und K. PRANTL“.

Berücksichtigt man die Bedingungen, unter denen *Funaria* in der freien Natur gedeiht, so würden sich als Unterlage für Kulturen Wald- oder Garten-erde, feuchter Sand, Torf, poröse Mauersteine und Ähnliches eignen. Versuche mit Torfplatten, die längere Zeit ausgekocht und worauf die mit ausgeglühtem Sand vermischten Sporen ausgesät wurden, mißglückten; trotz der Sterilisation gingen die Moosvorkeime infolge von Pilzwucherungen zugrunde. Von anderen Nährböden nahm ich Abstand, da sie alle an dem gemeinsamen Übelstand leiden, daß die unmittelbare Beobachtung der ersten Entwicklungszustände der Pflanze unter dem Mikroskop unmöglich ist. Diese gestatten in tadelloser Weise nur die künstlichen, durchsichtigen Nährplatten, wie sie die Bakteriologen schon lange verwenden. Ich bediente mich einer Gallerte, die 15 g Agar auf 1 l Wasser und 2,5 g Nährsalze¹⁾ enthielt und in nicht zu dünner Schicht in Petrischalen ausgegossen war; der Erfolg ließ nichts zu wünschen übrig.

Mehrere völlig reife *Funaria*-Kapseln von im Herbst 1906 bei Eisenach gesammelten Rasen wurden, unter der Wasserleitung abgewaschen, in der Weise geöffnet, daß die Sporen in ein Uhrgläschen mit ausgekochtem Wasser fielen; nach möglichst gleichmäßiger Verteilung wurde dann mit einer Platinöse je ein Tropfen zu einem schmalen Streifen über die Agarplatte ausgezogen; auf jede Platte kamen, je nach der Größe, 4—5 solcher Streifen. Die Schalen erhielten ihren Platz in der Nähe des Fensters und zwar — es war Mitte Januar — in einem frostfreien Zimmer, denn in der Kälte wird die Gallerte uneben und trübe. Schon im Laufe einer Woche verrieten grüne Anflüge, daß die Keimung der Sporen begonnen hatte; einige Tage später fingen die Fäden an, sich reichlicher zu verzweigen, und vier Wochen nach der Sporenaussaat zeigten die Kulturen folgendes Bild: auf den Streifen üppig in die Höhe geschossene Vorkeimräschen und, von diesen freudig grünen Beeten über die Agarfläche hin ausstrahlend, ein dichtes, zartfädiges Gewebe, das besonders gegen die Ränder der Schale in zierlich fiederige Verästelungen überging. Nur ausnahmsweise wuchsen die Fäden innerhalb des Nährbodens, dann aber mit verkürzten Zellen.

¹⁾ 15 g Agar-Agar wird solange mit kaltem Wasser abgewaschen, bis es klar abläuft, in 1 l destilliertem Wasser über freiem Feuer gelöst, die Lösung durch Baumwolle filtriert, nach Zusatz einer mit wenig Wasser angeriebenen Mischung aus 1 g Kaliumnitrat, je 0,5 g Magnesium- und Calciumsulfat, je 0,25 g Calcium- und Ferrophosphat in ERLÉNMEYER-Kölbchen sterilisiert. Man beachte die für Anlage von Reinkulturen geltenden Vorsichtsmaßregeln!

Nach sechs Wochen zeigten sich die ersten Knöspchen. Um diese winzigen Gebilde in ihrem Wachstum genauer beobachten und jederzeit schnell auffinden zu können, wurden einzelne Standorte durch Einkreisen mit blauer Tusche gekennzeichnet. Trotz aller Vorsicht stellten sich Schimmelpilze und Bakterienkolonien ein und gefährdeten die Anlagen in ihrem Bestehen. Durch stärkere Belichtung einerseits, indem ich die Platten täglich einige Zeit dem Sonnenlicht aussetzte, dann wieder durch Zuführung von Feuchtigkeit, indem ich Schalen, deren Gallerte auszutrocknen begann, mittels Zerstäubers besprengte oder einfach in Wasser legte, gelang es, die Moosvorkeime derart zu kräftigen, daß sie die Schädlinge überwucherten und erstickten.

Die Vorkeimknospen wuchsen ziemlich schnell zu kleinen, schon dem bloßen Auge sichtbaren Pflänzchen heran; sie waren in der siebenten Woche zahlreich vorhanden, einige darunter bereits mit 2—4 wohl ausgebildeten Blättchen; nach weiteren 14 Tagen hatten sie eine Höhe bis zu 2 mm, wieder eine Woche später bis zu 4 mm erreicht und am Gipfel eine stattliche Blattrosette hervorgebracht, während sich am Grunde die ersten Seitensprosse zu entwickeln begannen.

Nicht immer verlaufen Keimung der Sporen und Wachstum der jungen Pflanzen so glatt und so schnell; bei einem früheren Versuche zeigten sich Keimpflänzchen erst ein Vierteljahr nach der Aussaat. In beiden Fällen aber wollten die Kulturen von nun an nicht recht gedeihen; die Rasen blieben locker, die Pflanzen wuchsen zart und schlank in die Höhe und machten den Eindruck der Vergeilung. Es wurden deshalb anfangs Mai Blumentöpfe mit einer Mischung von Walderde, Ziegelgrus und zerstoßener Holzkohle gefüllt und, nachdem die Oberfläche mit dichter Gaze, darüber mit einer Scheibe lockeren Fließpapiers bedeckt¹⁾, und das Ganze tüchtig angefeuchtet war, auf diese Unterlagen die Mooskulturen übertragen. Sie erhielten dann, leicht mit Glasplatten bedeckt, ihren Platz an einer schattigen Stelle des Gartens, wurden stets reichlich mit Wasser versehen, im übrigen sich selbst überlassen. Nach sechs Wochen boten sie ein anderes Aussehen: frisch grüne, dicht verfilzte Rasen überzogen die ganzen Nährböden, und einzelne kräftige Pflänzchen trugen bereits ♂ Blüten mit Antheridien in den verschiedensten Entwicklungszuständen. Bald darauf entdeckte ich auch, doch spärlich, ♀ Blüten mit befruchteten Archegonien; Mitte Juli erschienen die ersten jungen Früchte, und einen Monat später waren einige davon zwar noch grün, doch völlig ausgewachsen, und deutlich schimmerte über dem rotgelben Ringe das Peristom durch den zarten Deckel. Die Reife dieser Kapseln war Ende September, 8½ Monate nach der Sporenaussaat, beendet.

Während nun die im Freien wachsende *Funaria* in der Regel einjährig ist (nach K. MÜLLER auf Köhlerstätten oft zwei- bis dreijährig), und ihre

¹⁾ Diese Einlage erfüllte den Zweck, die Räschen von erdigen Teilen frei zu halten, vollkommen, so daß jedes Auswaschen für die Untersuchung fortfiel. „Nichts ist störender als Schmutz“ sagt LIMPRICHT.

Rasen nach der Kapselreife zugrunde gehen, um sich später aus dem Protonema zu erneuern, überdauerten die Kulturen den Winter. Eine zweite Fruchtreihe erschien, teils schon im November, teils im nächsten Frühjahr; diesmal aber herrschten die ♀ Pflanzen vor, sie zeigten vortrefflich den eigenartigen, dickknospenförmigen Wuchs mit ♂ Sproß am Grunde und bildeten dichte, geschlossene Rasen.

Die Sporen und ihre Keimung. — In der Spore liegt der Bauplan für die künftige Pflanze verborgen. So darf man von den Fortpflanzungszellen der Moose mit dem gleichen Recht sagen, wie von den Samen der höheren Gewächse. Während diese aber in ihrer Gestalt und Farbe, im inneren Bau oder in ihrem Verhalten beim Keimen ausgeprägte Kennzeichen besitzen, haben die Moossporen so wenig Eigenartiges an sich, daß uns in diesen winzigen Körnchen das Geheimnis der durch KERNER VON MARILAUN wieder in die Wissenschaft eingeführten Lebenskraft eindringlicher als sonstwo entgegentritt. Auch der geübteste Moosforscher ist nicht imstande, die freien Sporen einer *Funaria*, eines *Bryum* oder *Hypnum* als solche zu erkennen; auch Keimung und Vorkeim nützen ihm wenig; der Gametophyt gibt einen Anhalt, Gewißheit erst die zweite Generation.

Die einer reifen Kapsel von *Funaria* entnommenen Sporen erscheinen in der Masse als ein staubfeines, ockergelbes bis rostbraunes Mehl, das von Äther und von Weingeist leicht aufgenommen wird und darin schnell unter-sinkt, auf Wasser dagegen schwimmt und auch bei kräftigem Schütteln sich damit schwer mischt; dieses Verhalten ist teils auf anhängende Luft, teils auf einen wachsartigen Überzug zurückzuführen, denn kocht man das Pulver mit Wasser, so sinkt es darin zu Boden; wäscht man es mit Äther, so hinterläßt er beim Verdunsten einen krystallinischen Rückstand. Einer Flamme genähert verpufft es, wie das als Hexenmehl bekannte *Lycopodium*.

Unter dem Mikroskop erscheinen die einzelnen Sporen als annähernd gleich große, kugelrunde Zellen, deren Durchmesser im Mittel verschiedener Messungen $15\ \mu$ (0,015 mm) beträgt. Sie sind von zwei Häuten umgeben und enthalten neben Farb- und Vorratnährstoffen gewöhnlich einen großen, stark lichtbrechenden Ölkörper. Die Oberfläche wird von SCHIMPER als glatt, von LIMPRICHT als warzig, von G. ROTH als warzig oder fein gekörnelt bezeichnet; mir erschien sie glatt, erst bei 600:1 Vergrößerung wurde eine zarte, dem Exosporium eigene Körnelung sichtbar. (Bild 1, a.)

Über die Grenze der Keimfähigkeit sind die Ansichten geteilt. Nach MÜLLER-Thurgau keimten *Funaria*-Sporen noch nach fünf Jahren, wogegen Versuche mit den Sporen von Pflanzen, die 25 und anderen, die nur acht Jahre in meiner Sammlung gelegen hatten, erfolglos blieben. Unter günstigen Bedingungen, wozu genügend Licht und Feuchtigkeit gehören, keimen die *Funaria*-Sporen wenige Tage nach der Aussaat. Der Inhalt wird gleichförmig

trübe und schwillt durch Wasseraufnahme so erheblich an, daß der Sporendurchmesser 22 bis 28 μ erreicht und die äußere Haut gesprengt wird (Bild 1, b, c); ihre bräunlichen Reste bleiben noch lange als unregelmäßige Fetzen an der Innenwand hängen oder umfassen sie gleich den Schalen einer Muschel, um schließlich abgeworfen zu werden. Bisweilen widersteht das Exospor auch dem Druck und wird von dem als farbloser Höcker sich vorwölbenden Endospor durchbrochen. Eine Andeutung der Stelle, an welcher der Sporenschlauch austritt, ist vorher nicht sichtbar; sie wird offenbar durch Richtung und Stärke des auffallenden Lichtes bestimmt.

Schon in der keimenden Spore findet sich Chlorophyll in großen Körnern; es bildet sich auch reichlich in den Keimschläuchen, die sich, da sie bald durch eine Querwand abgetrennt werden, hinfort selbst ernähren. Ihre Wandungen bleiben farblos. Wie die Keimung, so steht auch das Wachstum der Schläuche in engen Beziehungen zum Lichte; je schwächer dieses, um so länger werden sie. Figur d zeigt eine Gruppe von Sporen, deren Schläuche infolge einseitiger, schwacher Beleuchtung sämtlich der Lichtquelle zu wuchsen und binnen acht Tagen eine Länge von 1 mm erreichten. Auf einer gleichmäßiger und stärker belichteten Kultur begann die Keimung mehrere Tage später, die Schläuche richteten sich nach verschiedenen Seiten und wuchsen anfangs kaum merklich in die Länge. Es



Abb. 1. *Funaria*-Sporen. a reife, b—d keimende. a—c 400:1, d 40:1.

wurde durch eine größere Zahl von Messungen festgestellt, daß das tägliche Längenwachstum verschiedener Sporenschläuche zwischen 105 μ und 180 μ schwankte, bei weiter vorgeschrittener Entwicklung aber bis 840 μ , also fast das 60fache des Sporendurchmessers, in 24 Stunden erreichte.

Die durch die erste Querwand gebildete Endzelle übernimmt die Aufgabe einer Scheitelzelle; sie führt zu einem unbegrenzten Spitzenwachstum infolge Einschiebung neuer Querwände. Eine Teilung älterer Zellen findet nicht statt, ebensowenig eine Längsteilung; der Faden bleibt einzellreihig.

Die Mehrzahl der auf Agargallerte ausgesäten Sporen trieb nur einen Keimschlauch; selten waren zwei oder drei, die dann stets an entgegengesetzten Seiten auftraten; vier Schläuche aus einer Spore habe ich nur einmal beobachtet.

Keimen Sporen auf der Erde, so bilden sich die in den Boden eindringenden Schläuche sogleich zu Rhizoiden um. Solche aus Spore, Keimschlauch und

Rhizoid bestehenden Keimpflänzchen haben HEDWIG für die Bilder der „semina Mnii hygrometrici cum suis cotyledonibus et radiculis“ vorgelegen.

Der Vorkeim. — Sobald die Keimschläuche eine gewisse Länge erreicht haben, seltener gleich nach ihrer Abgliederung, beginnen sie sich zu verzweigen. Schon auf dieser Stufe zeigt unser Moos, wenigstens das kultivierte, kleine habituelle Unterschiede von anderen. Bei *Hypnum cupressiforme* z. B. sind die Fäden viel zarter; sie gruppieren sich zu dicht verzweigten Büscheln mit kurzen, starren Ästen, so daß die „Beete“, wie ich die streifenförmigen Protonemarasen nennen will, scharf abgegrenzt bleiben. *Funaria* hat kräftigere Fäden, die teils unverzweigt steil aufwärts streben, teils nach allen Seiten über den Nährboden hinschweifen, dabei so zahlreiche, lange Seitenäste treiben, daß sie den Zwischenraum zwischen den Beeten völlig überwuchern.

In dieser verschiedenartigen Entwicklung des Vorkeims liegt offenbar eine Anpassung an die späteren Wachstumsverhältnisse. Die kurzen, aufrechten Stämmchen der *Funaria* brauchen für die folgenden Seitensprosse Spielraum,



Abb. 2. *Funaria*-Vorkeime auf Agargallerte. a 10:1, b 30:1.

deshalb verteilt sich das Protonema und mit ihm die jungen Pflänzchen über eine möglichst große Fläche; die langen Stengel des *Hypnum* können dagegen, ohne einander zu behindern, von einem gemeinsamen Punkt ausgehen.

Bei der Verzweigung des *Funaria*-Vorkeimes äußert sich die Wirkung des Lichtreizes besonders auffallend. Fäden, die in der Richtung zum Lichte wachsen, senden

ihre Äste ziemlich gleichmäßig nach beiden Seiten, seltener nach oben (Bild 2, a¹); einseitig beleuchtete entwickeln Zweige fast nur an der Lichtseite (Bild 2, a, b). Das Protonema erinnert in diesem Zustande an gewisse Fadenalgen, zu denen es die älteren Botaniker ja auch rechneten, und, wie das bekannte Leuchtmoos lehrt, mit besonderen Namen belegten. Die Zweige entstehen gesetzmäßig stets am oberen Ende der Gliederzellen, unmittelbar hinter der scheitelsichtigen Querwand, indem sich hier die Außenwand der Hauptache vorwölbt und die Papille bald durch eine Wand abgetrennt wird. Dadurch ist man in der Lage, an jedem Bruchstück eines verzweigten Fadens seine Wachstumsrichtung festzustellen.

Sekundäres Protonema. — Da bei anhaltender Dürre der zarte Vorkeim in seinem Bestande gefährdet wird, so hat die Natur ihn mit der Fähigkeit ausgestattet, Dauerzellen zu bilden. Bei Kulturen kann man diesen Vorgang jederzeit verfolgen, sobald die Nährböden mehr und mehr eintrocknen. Es schwellen dann die bisher walzenförmigen Zellen unter gleichzeitiger Verkürzung, einzelne bis zur Kugelform, an, in kleinen Zwischenräumen entstehen

farblose, scheibenförmige Trennzellen, welche sich bald in die Länge strecken, an einem Ende verzüngen und hier schließlich die Verbindung mit der Nachbarzelle lösen, so daß nun gedunsene Zellen einzeln oder in rosenkranzförmigen Reihen zurückbleiben (Bild 3, a). Sie überdauern die verschiedenen Entwicklungsvorgänge des Moores und finden sich später, an der zugespitzten Endzelle leicht wiederzuerkennen, als gebräunte, Rhizoiden treibende Brutkörper (siehe Bild 3, b) im Wurzelfilz der *Funaria*-Rasen in Menge. An sekundärem, aus Blättern hervorgegangenem Protonema hat CORRENS derartige Gebilde beobachtet und die eigentümlichen Trennzellen als Brachytmemen¹⁾ und Strecktmemen unterschieden. Sekundäre Vorkeime können übrigens auch aus jungen Knospen (Bild 6, b, c) und anderen Teilen der Pflanze entstehen; ich habe ♂ Blüten gesehen, in denen sich die Fäden aus dem Grunde der entleerten Antheridien entwickelt hatten (Bild 12, i), und wenn Dr. KARL MÜLLER von den Lebermoosen sagt, „daß fast jede Zelle unter besonderen Bedingungen befähigt ist, eine neue Pflanze zu entwickeln“, so gilt dieses, die Vermittelung durch Protonema vorausgesetzt, auch für *Funaria* und die übrigen Laubmoose.

Es kommt vor, daß sich auch im kultivierten Vorkeimrasen auffallend lange, braune Fäden mit schräg gestellten Querwänden zeigen, also von ausgesprochenem Rhizoidcharakter. Betrachtet man die Stellung mehrerer aufeinander folgenden Wände genauer, so wird man einen

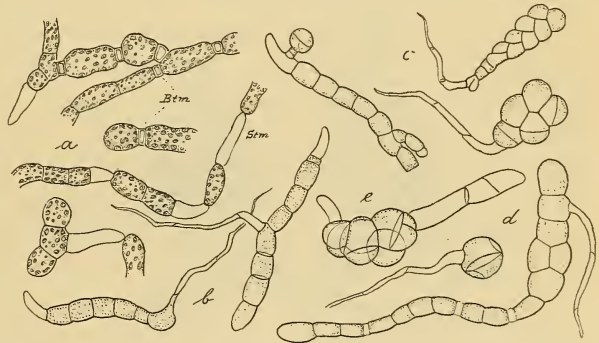


Abb. 3. Brutkörper von *Funaria*. a im Vorkeim, Btm = Brachytmemen, Stm = Strecktmemen 120:1; b–e im Wurzelfilz, b, c 75:1, d, e 120:1.

regelmäßigen Wechsel in spiraliger Anordnung bemerken. Die Erklärung dafür hat schon 1874 MÜLLER-Thurgau gegeben; nach seiner Ansicht schneidet die Endzelle nach Art einer tetraedrischen Scheitelzelle ihre Segmente ab, deren Wände nur infolge schnellen Längenwachstums nicht aufeinanderstoßen.

Die Moosknospe. — Auf dem Vorkeim, dem Bindeglied zwischen Spore und Keimpflanze, entstehen an Haupt- und Nebenachsen regellos zerstreut die Knospen, aus denen das beblätterte Moosstämmchen hervorgeht. Ihre erste Anlage ist nur schwer zu beobachten; sie gleicht einem jungen Protonemazweig mit etwas dichterem Inhalt. Doch bald macht sich eine mäßige Anschwellung bemerkbar; im Innern treten nacheinander drei schräge Wände auf, die sich in etwa gleichem Winkel treffen und eine Endzelle in Gestalt einer umgekehrten, dreiseitigen Pyramide mit gewölbter Außenfläche bilden: die dreischneidige Scheitelzelle, deren gesetzmäßige Teilungen hinfort das

¹⁾ Von *βραχύς* = kurz und *τέμνω* = ich trenne.

Wachstum der Pflanze bestimmen, bis mit dem Aufhören ihrer Tätigkeit auch das Spitzenwachstum des Stammes seinen Abschluß erreicht.

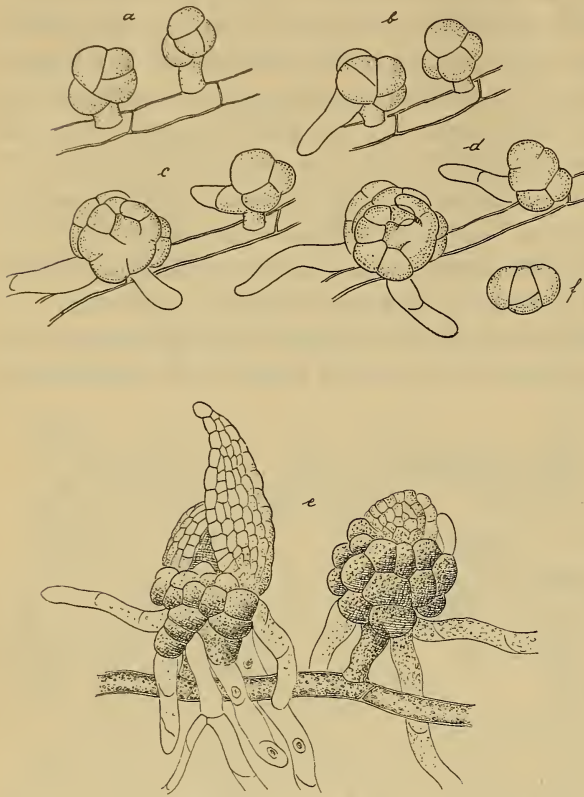


Abb. 4, 5. Entwicklungszustände zweier Moosknospen von der Bildung der Scheitelzelle bis zur Entstehung der ersten Blätter 120:1; f = b in der Scheitelansicht.



Abb. 6. a aus sekundärem Protonema entwickelter Brutkörper 150:1, b zu sekundärem Protonema sich zurückentwickelnde Moosknospe, c dieselbe 6 Tage später. 120:1.

Die nach Bildung der Scheitelzelle sich vollziehenden Vorgänge werden durch die Bilder (4, 5) zweier nebeneinander entstandenen Moosknospen veranschaulicht, deren Entwicklung bis zum Erscheinen der ersten Blätter innerhalb zweier Wochen stattfand und von Tag zu Tag verfolgt werden konnte. Aus den kaum 0,05 mm großen, in ihrer Form an die Drüsenhaare der Solanaceen erinnernden Knöspchen (a) entstanden in diesem Zeitraum durch Abspaltung von Segmenten nach drei Seiten und deren nachherige Teilung durch wenige Radialwände knollige Zellkörper von 0,16 mm Höhe, mit prall vorgewölbten Wandungen, die am Grunde noch mit dem Vorkeimfaden durch ein einzelliges, kurzes Stielchen verbunden blieben (e).

Doch die Natur arbeitet nicht nach der Schablone. So wenig zwei Moosknöspchen einander gleichen, ebensowenig entwickeln sich alle zu Keimpflanzen; es gibt auch Rückbildungen. Bild 6, b, c zeigt eine Knospe, deren Scheitelzelle nicht zum Abschneiden von Segmenten gelangt, sondern auf der Stufe eines Mittelpunktes für Erzeugung von sekundärem Protonema stehen bleibt; sie bringt nur noch Gliederfäden hervor.

Die Rhizoiden. — Kaum sind die ersten Segmente abgespalten, so brechen am Grunde der Moosknospe schlauchförmige Fortsätze hervor, die sich mit

der fortschreitenden Zellteilung allseitig vermehren, auf den Kulturen lange farblos bleiben oder spärlich feinkörniges Chlorophyll führen, beim Eindringen in den Erdboden sich aber bald bräunen. Diese Rhizoiden sind dazu bestimmt, die junge Pflanze in der Unterlage zu befestigen und ihr daraus Nährlösung zuzuführen. Von den grünen Vorkeimfäden unterscheiden sie sich sofort durch schräg eingesetzte Wände (Bild 9, d); im übrigen verlängern auch sie sich nur durch Spitzenwachstum. Die viel zarteren Verzweigungen folgen dem gleichen Gesetz, wie beim Protonema; die Äste treten auch hier unmittelbar hinter einer Querwand auf und zwar in dem von dieser und der Außenwand gebildeten spitzen Winkel, sind mithin in einer Spirale um die Achse geordnet. Die Rhizoiden bleiben keineswegs auf den untersten Teil der Moospflanze beschränkt, gehen vielmehr adventiv auch aus höheren Stammteilen, besonders am Grunde von Seitensprossen (Bild 7, Mitte), hervor und verweben durch ihre Masse die Rasen oft derart, daß man mit Mühe die einzelnen Pflänzchen herauslösen kann. Mit Recht spricht man daher von einem Stengelfilz. Er spielt als Schutz gegen Austrocknung eine wichtige Rolle und gewährt den sogleich zu besprechenden Zellkörpern eine geeignete Brutstätte.

Brutkörper. — Neben den als Ergebnis der Lockerung des primären Vorkeims bereits erwähnten einreihigen Zellfäden, die auch später durch Einschiebung farbloser Trennzellen in kleinere Stücke zerfallen und zu neuem Protonema auswachsen (Bild 3, b, d) findet man im Wurzelfilz der kultivierten *Funaria* braune, aus kugelig gewölbten Zellen gebildete Brutkörper mit bisweilen so regelmäßig gestellten Teilungswänden, daß man die Segmente einer zweischneidigen Scheitelzelle zu sehen meint (Bild 3, c, e), oft sind es auch längere, streckenweis ein-, dann wieder zweireihige in ein dünnes Rhizoid auslaufende Fäden. Trotz reichlichen Auftretens entzogen sich die jüngeren Entwicklungsformen der Beobachtung, nur eine einzige entdeckte ich schließlich auf einem Protonemafaden, der aus der Blattachsel einer auf Agargallerte ausgelegten Pflanze hervorgegangen war: ein kurzgestieltes Knöllchen (Bild 6, a), das nach 2½ monatlichem Verweilen auf seiner Unterlage noch keine Veränderung zeigte, sich mithin als echte Dauerform erwies.

An oberirdischen Teilen selten fruchtender Moose dienen die Brutorgane der Fortpflanzung; im vorliegenden Falle sind sie vielleicht dazu bestimmt, Nährstoffe zu speichern, solange sie mit dem Vorkeim verbunden bleiben. In kräftigen Rasen fand ich davon nur kümmerliche Reste.

Wurzelparasiten. — An dieser Stelle möchte ich über einen pflanzlichen Schmarotzer berichten, den ich im September d. J. auf den *Funaria*-Kulturen zu beobachten Gelegenheit hatte. Bisher sind derartige Pilze, wie *Nawaschins Tilletia sphagni* und *Helotium Schimperii*, selten und wohl nur an den oberirdischen Teilen von Moosen gesehen worden; einen Myxomyceten, *Physarum citrinum* SCHUM., fand ich unlängst auf Rasen von *Hypnum cupressiforme*. Im vorliegenden Falle hatte sich der Parasit auf den Rhizoiden angesiedelt und an manchen Pflänzchen so üppig entwickelt, daß sie unter dem Mikroskop

an das reich mit Knollen besetzte Wurzelwerk einer Kartoffelstaude erinnerten. Die Rhizoiden und ihre Verzweigungen bilden an den Enden und auf seitlichen, bald langen, bald kurzen Stielen kugel- oder ballonförmige, farblose oder bräunliche Blasen, in denen bis acht kugelige, durch ein Röhrchen mit der Außenwand verbundene Körper entstehen (Bild 9, d). Herr Professor MIGULA in Eisenach erklärte die Gebilde für die Ruheform einer Chytridiacee, Dr. QUELLE für ein *Pseud-Olpidium*; er schreibt dazu, daß er ähnliche Pilze an den Brutkörpern von *Encalypta contorta* und *Bryum capillare* bemerkt und das Ausschlüpfen von Schwärmsporen aus den Sporangien — den kleinen Kugeln — verfolgt hat. Jedenfalls läßt seine Mitteilung den Schluß zu, daß das Auftreten der Chytridiacee auf meiner *Funaria* nicht etwa mit ihrer Kultur auf künstlichem Nährboden zusammenhängt. Möchten andere Bryologen ihre Aufmerksamkeit gelegentlich den unterirdischen Teilen der Moosrasen zuwenden; gewiß steckt darin noch manch zu lösendes Rätsel.



Abb. 7. a junges *Funaria*-Pflänzchen von 3 mm Höhe. 9:1; b, c ♂ Pflanzen mit ♀ Seitensprossen. 5:1; d Verzweigungsschema.

Die Moospflanze. — Als erste, geschlechtliche oder probembryonale Generation, zum Unterschied von dem Sporophyt auch als Gametophyt bezeichnet, entwickelt sich aus der Moosknospe die Blüten und Früchte tragende Pflanze, dasjenige, was man gemeinhin „Moos“ nennt. Bald nach dem Erscheinen der ersten Blättchen streckt sich, siedadurch auseinander rückend, die Achse und in kurzer Zeit kann man schon mit der Lupe

die winzigen Stämmchen wahrnehmen, die so schnell wachsen, daß an einzelnen von 0,2 bis 0,5 mm Höhe nach vier Tagen eine Zunahme um mehr als das Doppelte festgestellt werden konnte. Bei 3 mm Höhe sind die Pflänzchen bereits so kräftig, daß sie Seitentriebe hervorbringen (Bild 7, a). Mit Anlage der ♂ Blüte schließt der Hauptsproß sein Spitzenwachstum ab; der jüngere Seitensproß endigt mit einer ♀ Blüte und da das Stämmchen nach dieser Zeit auch nicht mehr in die Dicke wächst, bleibt es auf seiner Entwicklungsstufe stehen, bringt aber noch reichlich Sprosse hervor (Bild 7, b, c).

Der Stamm von *Funaria* ist schlank walzenförmig, nach oben hin meist etwas verdickt; ebenso sind jüngere Triebe gewöhnlich stärker als die Hauptachse. Im Mittel beträgt der Durchmesser älterer Sprosse 0,25 bis 0,28, jüngerer 0,3 bis 0,5 mm. Die Verzweigung beginnt früh; schon aus dem Grunde der jungen Pflanzen treten Adventivsprosse einzeln oder zu mehreren hervor, später auch aus den oberen Stengelteilen, und zwar nicht aus den Blattachseln; an manchen Stämmen wiederholt sich das mehrmals, so daß man

Zweige dritter und vierter Ordnung antrifft, die sämtlich mit Blüten abschließen. Ich habe eine ♂ Pflanze beobachtet, die in sympodialer Anordnung im ganzen sechs Blüten trug, wovon drei ♂ auf den Sprossen zweiter und dritter, zwei ♀ auf den Sprossen vierter Ordnung (siehe das Schema 7, d). Diese Tatsache hebe ich deswegen hervor, weil bisweilen angegeben wird (HÜBENER, CAMPBELL), *Funaria* sei selten verzweigt. Mit Rhizoiden ist der Stamm anfangs nur am Grunde versehen; später finden sie sich bis weit hinauf, besonders reichlich am unteren Ende der Zweige, so daß diese nicht mehr auf die Ernährung durch den Hauptsproß angewiesen sind und sich oft durch Absterben der älteren Teile von ihm lösen. Es kommt daher vor, daß man in den durch das Rhizoidengewirr dicht verwebten Rasen ♂ und ♀ Sprosse getrennt antrifft.

In seinem anatomischen Aufbau zeigt der Stamm sehr einfache Verhältnisse. Außen umgibt ihn eine einschichtige, in der Jugend grüne, im Alter braune, aus länglich rechteckigen Zellen gebildete Rinde, deren Längswände sich als fortlaufende parallele Linien bis gegen die Spitze verfolgen und dadurch leicht die Blattstellung erkennen lassen. In einem medianen Längsschnitt (Bild 8, a—c) sehen wir über dem aus sehr lockeren, polygonalen Zellen gebildeten Fußteil den eigentlichen Stengel, in seiner Mitte durchzogen von einem gut begrenzten, aus zartwandigen Prosenchymzellen gebauten Zentralstrang, der gegen die Stammspitze bedeutend an Umfang zunimmt. Er wird von vier oder nur wenig mehr Zell-Lagen eines ebenfalls dünnwandigen, doch großmaschigen Grundgewebes umschlossen, dessen äußere Schicht bedeutend enger ist; ihre Zellen haben verdickte Wände und sind hier und da prosenchymatisch zugespitzt. Nach oben hin wird das Grundgewebe engmaschiger. In jüngerem Zustande enthalten alle Schichten bis auf das Zentralbündel Blattgrün. Tüpfel oder Wandverdünnungen ließen sich durch Farbstofflösungen nirgend nachweisen.

Um das durch Längsschnitte gewonnene Bild zu vervollständigen, betrachten wir noch einige Querschnitte (Bild 9, a—c). Sie sind annähernd kreisrund. Der Zentralstrang, bei jungen Stämmen noch wenig entwickelt, hebt sich mit seinen schwach kollenchymatisch verdickten Zellen scharf von dem Grundgewebe ab,

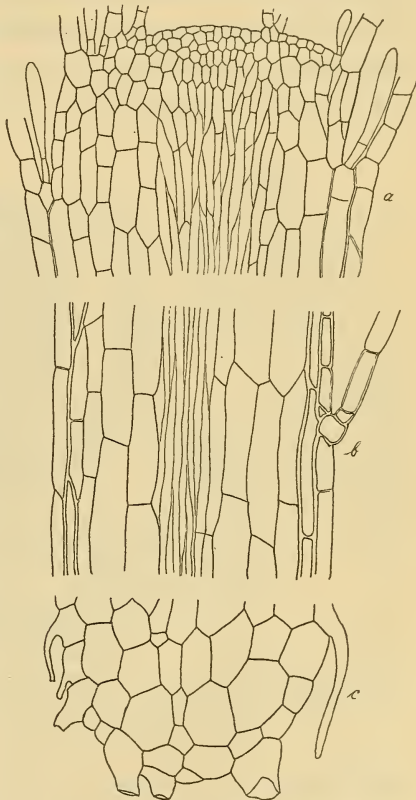


Abb. 8. *Funaria*-Stämmchen im medianen Längsschnitt. a Spitze, b Mitte, c Grund. 120 : 1. (Bei a sind die Blütenteile fortgelassen.)

ebenso die Rindenschicht; an älteren Stammteilen sind ihre Außenwände oft eingefallen. In c ist der Fuß des Kapselstieles getroffen, auch fällt mitten im Grundgewebe eine Gruppe enger, zarter Zellen auf: eine falsche, also das Leitbündel nicht erreichende Blattspur. Dieses ist hier, nahe dem Sproßgipfel, sehr stark entwickelt, sonst beträgt sein Durchmesser gewöhnlich $\frac{1}{4}$ von dem des Stammes, er schwankt je nachdem zwischen 0,04 und 0,12 mm.

Beim Vergleichen von Querschnitten fällt es auf, daß die Zellen der peripherischen Schicht oft an der einen Seite des Stengels größer sind, als an der anderen; in ihrer Nähe wird man gewöhnlich eine Blattspur finden, die auf die Ursache dieses Unterschiedes hinweist: es sind die großen Zellen des Blattgrundes, die unterhalb der Anheftungsstelle in Rindenzellen übergehen und sich bei unserem Moose jener Form der Außenrinde nähern, die man

als „blatteigen“ bezeichnet. Die geringe Ausbildung der Innenrinde erklärt sich aus dem Umstande, daß die in der Regel nur eine Höhe von 1—1,5 cm erreichenden *Funaria*-Pflänzchen aufrecht und dicht gedrängt wachsen und sich dadurch gegenseitig genügend Festigkeit geben, so daß sie besonderer mechanischer Elemente nicht bedürfen. Der Zentralstrang wird allgemein als wasserleitendes Gewebe gedeutet, und obwohl er vielen Moosen ganz fehlt, ist diese Auffassung durch seine Lage und sein Verhältnis zum Leit-

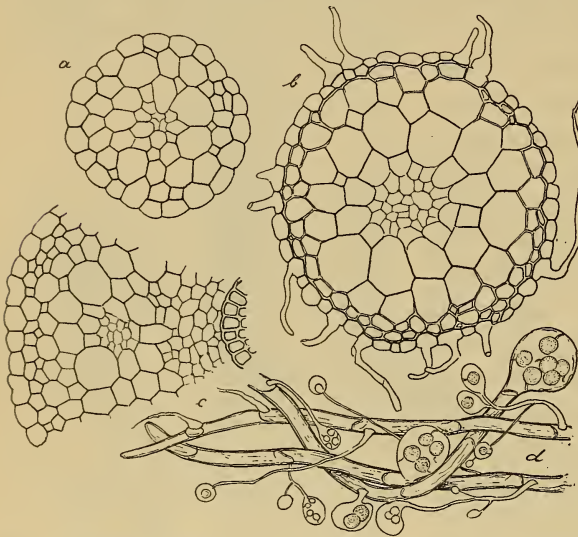


Abb. 9. *Funaria*-Stämmchen im Querschnitt. a einer jugendlichen, b einer älteren, c einer fruchtenden Pflanze. 120:1, d Rhizoiden, von eine Chytridiacee befallen. 30:1.

bündel der Seta berechtigt. Anders steht es mit dem Beweis. Man hat durch Versuche mit Farbstofflösungen (Eosin, Fuchsin) festgestellt, daß sie im Zentralstrang emporsteigen. Bei Benutzung von Methylenblau und Kongorot konnte ich an Pflanzen von *Funaria* keine Färbung wahrnehmen; doch hat OLTMANNS schon 1884 auf den geringen Wert dieser Versuche hingewiesen, bei denen ja die lebende Zelle durch den Farbstoff getötet wird, und auf andere Weise ermittelt, daß das Leitbündel allein nicht imstande ist, der Pflanze die notwendige Wassermenge zuzuführen, daß es dazu noch der Kapillarwirkung des Wurzelfilzes und der einander deckenden Blätter bedarf. Das wird jeder Sammler bestätigen, da die Erfahrung lehrt, daß einzelne Moospflänzchen oder selbst ganze Räschen, wenn man sie nur bis zu den unteren Blättern in Wasser stellt, in der ungenügend feuchten Luft unserer Wohnräume schnell vertrocknen.

Zum Studium der Vorgänge am Sproßscheitel ist *Funaria* wenig geeignet, da hier schon an ganz jungen Stämmchen die Blüten angelegt werden, womit das Spitzenwachstum zum Abschluß kommt. Ich habe unter zahlreichen Schnitten nicht einen gefunden, der ein brauchbares Bild von der Tätigkeit der Scheitelzelle geboten hätte.

Die Blätter erscheinen, wie die Bilder 4 und 5 erkennen lassen, an der Spitze der Moosknospe zuerst als stumpfe Höckerchen, von denen die älteren sich beim Wachstum dachförmig über den jüngeren zusammenneigen. Das erste bleibt am Grunde des sich streckenden Stammes als abgerundetes, gänzlich rippenloses Schüppchen zurück, die nächst höheren rücken empor, um sich in aufsteigender Folge zu vergrößern und in normale Stengelblätter überzugehen. Bei diesem Vorgang ist die Rippe in der Weise beteiligt, daß sie gewöhnlich, im zweiten Blatt als zarte Doppellinie angedeutet, sich mit jedem folgenden kräftiger entwickelt, dann aber auf der erreichten Stufe stehen bleibt, so daß jedes dieser Blättchen gewissermaßen einen Entwicklungstypus der Rippe darbietet; man kann ihn also ebensogut an jungen, wie an alten Pflanzen kennen lernen.

Das Werden und Wachsen des Blattes verfolgen wir am besten an den der

Gipfelknospe eines Sprosses entnommenen innersten Blättchen (Bild 10, a, b, e).

Hier ist es eine zweischneidige Scheitelzelle (a), die in bekannter Weise gleichmäßig nach rechts und links ihre Segmente abschneidet, welche sich zunächst durch eine perikline Wand in zwei ungleiche Teile zerlegen; aus dem größeren geht durch abwechselnd antikline und perikline Teilungswände die eigentliche Blattfläche hervor, während der kleinere die Bildung der Rippe einleitet, welche schon im Blatt a, deutlicher noch im Blatt b begrenzt erscheint und in diesem bereits, wie ein Querschnitt zeigt, als mehrschichtiger, aus zartwandigen und fast gleichartigen Zellen gebauter Nerv ausgebildet ist. Im Blattnetz läßt sich zu dieser Zeit, wo die Scheitelzelle in den Ruhezustand eingetreten ist, so daß Neubildungen an der Spitze nicht mehr stattfinden, die segmentweise Entstehung der Maschen noch leicht erkennen; die schräge Anordnung ihrer Reihen geht von der Spitze abwärts allmählich in die wagerechte

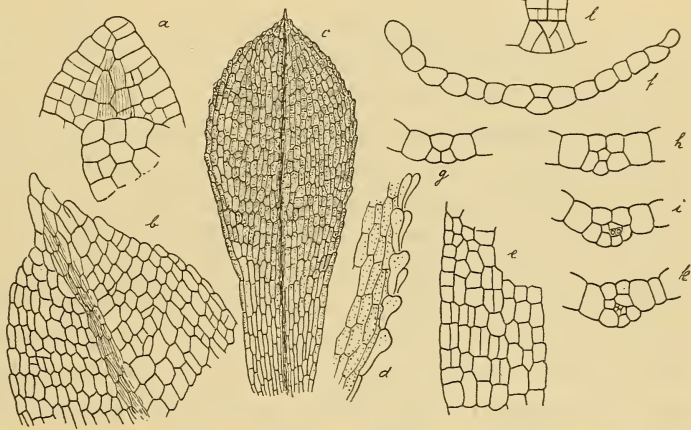


Abb. 10. a jüngste Blätter des Sproßscheitels 300 : 1, b etwas älteres Blatt von 0,1 mm Länge 150 : 1, c Blatt von der Mitte des Stengels 25 : 1, d Randzellen vom Grunde eines Perigonblattes 30 : 1, e Basalzellen eines nur wenig größeren Blattes als b 300 : 1, f—k Entwicklungszustände der Rippe 150 : 1, l deren Schema (Querschnitte).

über und bleibt sogar am Grunde erhalten, wo nun erst durch lebhaft einsetzende Längs- und Querteilungen (e) das Blattgewebe zur endgültigen Ausbildung gelangt, wo wir also auch seine jüngsten Zellen suchen müssen. Weiterhin wächst das Blatt nur noch durch ihre Streckung; in welchem Maße, lehrt ein vergleichender Blick auf b, c und e, wobei zu beachten ist, daß Blatt c, in der Vergrößerung von b oder e gezeichnet, 6 oder 12mal so groß erscheinen würde.

Im ausgewachsenen Zustande sind die Stamtblätter der *Funaria* länglich verkehrt-eiförmig bis spatelförmig, kurz zugespitzt, flachrandig, besonders die oberen sehr hohl. Ihre Größe ist an einer und derselben Pflanze recht ungleich; für ein Stämmchen von 1 cm Höhe fand ich folgende Zahlen:

Niederblatt	Länge 0,4 mm, Breite 0,6 mm,
Stamblatt vom Grunde	„ 0,75 „ „ 0,5 „
etwas höher	„ 1,2 „ „ 0,7 „
der Stengelmittle	„ 2,2 „ „ 0,8 „
der Rosette	„ 2,8 „ „ 0,9 „
Äußeres Hüllblatt der ♀ Blüte	„ 3,9 „ „ 2,0 „

Die beiderseits glatte Spreite ist aus zartwandigen, durch große Chromatophoren angenehm grün gefärbten Zellen gewebt¹⁾ (im Alter sind sie farblos und leer), die überall länglich-rechteckig oder -sechseckig, nur in der Spitze vereinzelt stumpf rautenförmig, bei einer durchschnittlichen Breite von 0,03 mm im oberen Teil eine Länge von 0,07 mm, im verschmälerten, chlorophyllarmen Grunde dagegen bis 0,25 mm erreichen. Auch in den jüngsten Blättern sind sie immer streng parenchymatisch und zu so regelmäßigen Reihen aneinander gefügt, daß man diese von der Anheftung bis zur Spitze mühelos verfolgen kann; ein prosenchymatisches Zellnetz, wie es LIMPRICHT (Laubmoose, Bd. I, S. 2) abbildet, ist für unser Moos ungewöhnlich. Die Zellen des Randes zeichnen sich meist durch größere Länge und stumpf vorstehende Vorderecken aus, so daß sie einen mehr oder weniger deutlichen Saum bilden und dem Blatte, zumal gegen die Spitze hin, einen besonderen Schmuck durch zierliche Kerbzähne verleihen. Ganz auffallend sind diese am Grunde der sonst nicht abweichend geformten Kelchblätter der ♂ Blüte entwickelt; die Randzellen treten hier doppelschichtig auf und sind keulenförmig, am oberen Ende aufgeblasen (Bild 10, d).

Die Rippe, in den unteren Blättern vor der Blattspitze erlöschend, ist in den oberen bis zu dieser durchgeführt; ihre innere Ausgestaltung vollzieht sich in der durch die Querschnitte Bild 10, f—l übersichtlich dargestellten Weise. Eine in der Mittellinie des Blattes liegende Zelle (in f) wird durch eine wagerechte Wand in eine obere und eine untere Hälfte geteilt, hierauf die untere

1) An einem *Funaria*-Blatt läßt sich ohne Umstände die Wirkung des Lichtreizes auf grüne Pflanzenteile zur Anschauung bringen; setzt man es den Sonnenstrahlen aus, so wandern sämtliche Chlorophyllkörner in wenigen Minuten an die Innenwände der Zellen und wenden ihre Schmalseite der Lichtquelle zu (Profilstellung).

zunächst durch eine antikline (g), dann durch eine schräge Wand (h) in zwei äußere und eine innere Zelle zerlegt. Diese bildet die Innenzellen, jene durch weitere antikline Teilungen die Rückenzellen. In der oberen Zelle findet durch zwei im rechten Winkel sich kreuzende Wände (k) eine Vierteilung statt und damit ist das Gerüst der Rippe fertig; durch Vermehrung der Innenzellen und Verdickung ihrer Wandungen sehen wir die stereiden Füllzellen entstehen, zwischen die sich schließlich im unteren Winkel der „Deuter“ die Begleitergruppe einschiebt. Damit ist das typische Bild der *Funariaceenblatt-rippe* erreicht (Bild 11, b). Die zuletzt genannte, aus dünnwandigen Prosenchymzellen gebildete Zellgruppe setzt sich aus dem Blatt in den Stengel fort, wo sie in der Nähe des Zentralstranges, auf Querschnitten als Blattspur sichtbar, im Grundgewebe verläuft. Das Stereidenband dient der Rippe, die auch an ihrer stärksten Stelle nur 0,06 mm breit ist, zur Erhöhung der Festigkeit.

Die Blätter der *Funaria* besitzen weder Flügelzellen, noch sonst Verdickungsformen irgendwelcher Art. Sie sind quer angeheftet und nach der $\frac{3}{8}$ Stellung am Stengel geordnet, den sie etwa zur Hälfte mit ihrer Basis scheidenartig umfassen und so bei ihrer dichten Folge — die Internodien sind, soweit ich an jüngeren Pflanzen feststellen konnte, der Anlage nach nur drei Zelllängen hoch — ein für die Hebung des Bodenwassers vorzüglich geeignetes Kapillarsystem bilden, während die löffelartige Höhlung der Spreite ihrerseits eine zweckmäßige Vorrichtung zum Sammeln der atmosphärischen Niederschläge darstellt.

Hier sei kurz einer merkwürdigen Ausscheidung gedacht, die an den Blattspitzen der Kulturpflanzen auftrat, sobald sie etwas trockener gehalten wurden, nach dem Begießen aber verschwand. Es waren weiße Krusten, wie man sie bei Kalkmoosen (*Encalypta contorta* z. B.) oft beobachtet; während es sich jedoch bei diesen um amorphe Ablagerungen von Gips handelt, waren es bei meiner *Funaria* wohl ausgebildete Prismen und Krystallbüschel, die gleichfalls aus Calciumsulfat bestanden. Da eine biologische Tätigkeit der Pflanze ausgeschlossen ist, erkläre ich mir diese Erscheinung so, daß aus dem zum Besprengen verwendeten Wasser¹⁾ beim Verdunsten die schwerlöslichen Bestandteile in der Weise ausgeschieden werden, wie aus der Soole der Gradierwerke — dort an den Dornenwänden, hier an den Blattspitzen und jungen Hauben, kurz, durch „Ausblühen“ des Kalksalzes.

Blütenverhältnisse. — Nach dem, was in dem geschichtlichen Abschnitt über *Funaria* berichtet ist, muß die Tatsache befremden, daß die Angaben über die Verteilung der Blüten so wenig übereinstimmen. Schon bei HEDWIG fällt es auf, daß er in seinem Fundamentum zwar eine richtige Abbildung gibt: ♂ Pflanze am Grunde mit dem ♀ Sproß verwachsen — in der Beschreibung aber die Blüte als „Flos disciformis dioicus“ bezeichnet. Nach

¹⁾ Das benutzte Leitungswasser zeigt 16,8 deutsche Härtegrade, davon 8,96 bleibende, ist also ziemlich kalkhaltig.

HÜBENER (1833) befinden sich die ♂ Blüten „in diversa vel eadem planta“. KARL MÜLLER (1853) spricht von einem einhäusigen Blütenstand, bei welchem „die ♂ kleine Pflanze am Grunde der ♀ steht“. Von SCHIMPER, LIMPRICHT, ROTH wird das Moos übereinstimmend als einhäusig, dann wieder von CAMPBELL (1895) als „strictly dioecious“ beschrieben, abgebildet und erwähnt, daß die ♂ Pflanzen in besonderen Rasen wachsen oder mit den ♀ gemischt. BROTHIERUS' (1903) und WARNSTORFS Angaben lauten „Autöcisch, ♂ Blüte gipfelständig am Hauptsproß, unterhalb derselben eine ♀ Innovation“. Daß einer dieser hervorragenden Forscher ungenaue Beobachtungen veröffentlicht haben sollte, ist ausgeschlossen und die auffallende Verschiedenheit ihrer Diagnosen wohl ungezwungen durch die Annahme zu erklären, daß *Funaria* tatsächlich ein- und zweihäusig, in einer monöcischen und einer diöcischen Rasse auftritt.

Ob Kulturversuche in solchem Falle beweiskräftig sind? Die meinigen lehren, daß, streng genommen, keine der obigen Angaben zutrifft; kurz zusammengefaßt lautet das Ergebnis: Zuerst erscheinen die ♂ Blüten, die ♀ folgen später¹⁾ und sehr spärlich auf Seitensprossen, welche, von Rhizoiden dicht verwebt, am Grunde der ♂ Hauptsprosse stehen und sich von diesen so leicht lösen, daß nur durch Querschnitte der Zusammenhang festzustellen ist; vereinzelt findet man synöcische und paröcische Blüten. Während die ♂ sich so reichlich vermehren, daß bald überall in den Rasen ihre rötlichen Scheibchen sichtbar sind, treten die ♀ so selten auf, daß sich auf fünf Kulturen von je 10 cm Durchmesser insgesamt nur zwölf Sporogone entwickeln; erst nach ihrer Reife machen sich am Grunde, dann auch an höheren Teilen des Stengels Sprosse mit ♀ Blüten bemerkbar (Bild 7, b, c), und im Dezember kommt die zweite Fruchtreihe des Jahres in größerer Zahl zum Vorschein. Nach diesen Beobachtungen wäre für den Blütenstand von *Funaria* die Bezeichnung zu wählen: Proterandrisch; autöcisch, seltener heteröcisch (und zwar synöcisch-paröcisch). Da indessen die einhäusigen Formen an Zahl bei weitem überwiegen, sind diese als normal anzusehen.

Auch wird nach Obigem, obwohl man die Pflanze fast zu jeder Jahreszeit mit Blüten antrifft, als die eigentliche Blütezeit der Spätherbst gelten müssen; GRIMME²⁾ gibt für unser thüringer Klima den Oktober (bis April) an.

Männliche Blüte. — Die habituellen Unterschiede der beiden großen Gruppen *Acrocarpi* und *Pleurocarpi* sind bekanntlich durch die Eigentümlichkeit des Vegetationsscheitels, entweder mit einer Blüte abzuschließen oder unbegrenzt weiterzuwachsen, begründet, hängen also mit dem Verhalten der Scheitelzelle zusammen. Bei *Funaria* endigt der Hauptsproß, wie bereits ausgeführt wurde, mit einer ♂ Blüte. In diesem Falle verwandelt sich die bisher dreischneidige Scheitelzelle in eine zweischneidige und entwickelt sich zum ersten

¹⁾ Nach RUHLAND ist sonst das Umgekehrte die Regel.

²⁾ Dr. A. GRIMME. Über die Blütezeit deutscher Laubmoose und die Entwicklungsdauer ihrer Sporogone. Hedwigia XLII, 1903.

Antheridium, während die folgenden teils aus den letzten, nicht mehr Blätter bildenden Segmenten, teils nach Art der Haare, jedenfalls in zentrifugaler Ordnung, entstehen. Bei unserem Moose finden wir sie zu 30 bis 50 in einer Blüte, so daß Stellung und Altersfolge schwer zu erkennen sind; wir wählen deshalb zur Beobachtung Blüten jüngerer Sprosse, wo noch Jung und Alt nebst den verschiedenen Übergangsstufen beisammen steht und eine vollständige Entwicklungsreihe leichter aufzustellen ist.

In solch einer Blüte (Bild 11, a; 12, a—i) erscheint das Antheridium zuerst als zarte Papille, die sich durch eine Querwand abgliedert, durch schräg gestellte Wände die zweischneidige

Scheitelzelle bildet, welche nach beiden Seiten gewöhnlich nur je vier Segmente abschneidet, sich dann zur Deckelzelle umformt und damit ihre Tätigkeit abschließt. Die weiteren Teilungen der Segmente verlaufen hier, wie bei allen Laubmoosen, nach einer

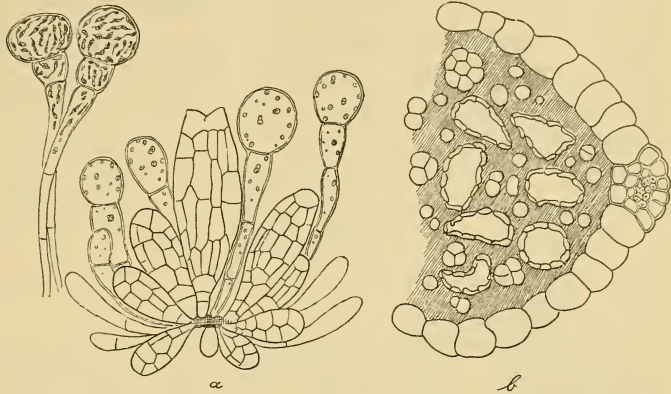


Abb. 11. a ♂ Blüte mit 8 jüngeren und einem entleerten Antheridium, daneben zwei Saftfäden mit sich teilenden Chromatophoren 150:1; b halber Querschnitt durch den Grund einer ♂ Blüte mit entleerten Antheridien 150:1.

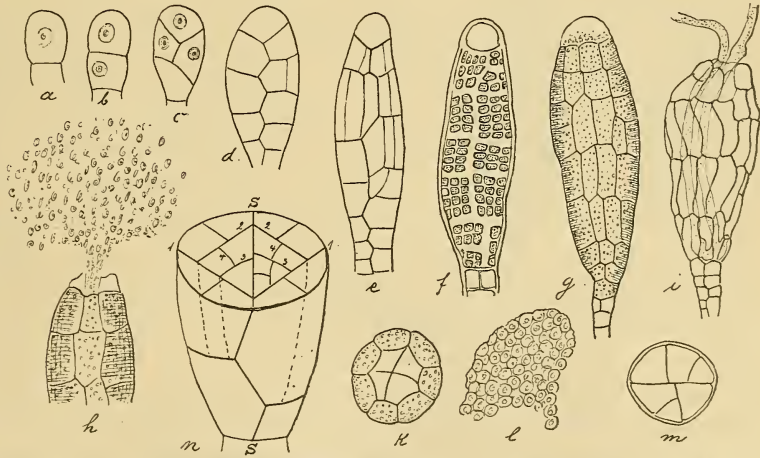


Abb. 12. a—e junge Antheridien in der Reihenfolge ihrer Entwicklung 400:1, f fast reifes A., mit Choralhydrat behandelt, g reifes A., k dasselbe vom Scheitel gesehen, i entleertes A mit Protonema, h Ausschwärmen der Spermatozoiden, l Spermatozoiden-Mutterzellen, m Querschnitt eines A, f—m 200:1, n Schema der Teilungsvorgänge.

bestimmten Ordnung; ihre Folge ist aus dem beigegeführten Schema n leicht zu übersehen. In Figur d und e sieht man die ersten Längswände; es sind die im Schema punktierten Trefflinien, in denen die von der Trennungswand S ausgehenden, die Segmente in zwei Außenzellen und eine dreiseitige Innenzelle zerlegenden Wände 1 und 2 aufeinander stoßen. In dieser finden weitere Teilungen in der durch Zahlen angedeuteten Folge statt, die zur Bildung der den ganzen

Innenraum ausfüllenden Spermatozoid-Mutterzellen führen. Die vier Außenzellen teilen sich jede nur ein- bis zweimal in radialer Richtung und stellen die einschichtige, sackförmige Außenwand des Antheridiums dar, deren Zellen sich zwar noch strecken, aber nur vereinzelt spätere Teilungen erfahren. Ein ausgewachsenes Antheridium von *Funaria* erscheint demnach, äußerlich betrachtet, zumeist aus vier Stockwerken aufgebaut, die sich oben und unten aus je 6—8, in der Mitte aus 12 oder mehr Wandstücken zusammensetzen; das Chlorophyll wird in ihnen zur Reifezeit durch einen rötlichen Farbstoff mehr oder weniger verdeckt, doch bleibt der Scheitel und der kurze Fuß farblos. Das ganze Gebilde ist dann 0,25 mm lang. Mit Aufhellungsmitteln behandelt — auf Längs- und Querschnitte dieser zarten Organe muß man verzichten, wenn man nicht zu Paraffin und Mikrotom seine Zuflucht nehmen will — werden die ursprünglichen Segmente mit ihren wenig zahlreichen Fächern sichtbar; das sind die in ihrem Innern je eine Samenzelle erzeugenden Mutterzellen.

Schwärmende Spermatozoiden zu beobachten, bietet unser Moos reichlich Gelegenheit, da einige von den vielen Antheridien fast jederzeit im Reifezustand anzutreffen sind und in Wasser bald ihre Deckel sprengen. Während bei manchen die bevorstehende Entleerung durch äußerlich sichtbare Vorzeichen angedeutet wird, bei *Pogonatum urnigerum* z. B. die Kappe des Antheridiums eine Stunde vorher blasenförmig anschwillt, ist hier nichts derartiges wahrzunehmen. Meistens genügt der Druck des Deckglases, den Vorgang herbeizuführen. Man sieht dann aus der geborstenen Deckelzelle den Inhalt als gleichmäßigen Strom, oder auch ruckweise hervorquellen, bisweilen wird er auch auf einmal herausgeschleudert, und da das Ganze auf einer Quellung und Verschleimung der Zellhäute beruht, so nimmt die Masse, die aus den zarten, farblosen Spermatozoid-Mutterzellen besteht, deren jede ein spiralig gewundenes Samenkörperchen einschließt, nach dem Austreten einen größeren Umfang an als vorher. Kaum ist sie mit dem hierbei unentbehrlichen Wasser in Berührung getreten, so beginnt, oft schon bevor noch das Antheridium gänzlich entleert ist, ja sogar innerhalb desselben, eine bereits bei schwacher Vergrößerung (70:1) wahrnehmbare Bewegung; die ganze Masse scheint aus zitternden Pünktchen zu bestehen und bei 300maliger Vergrößerung sieht man deutlich die im engen Raum ihrer Mutterzelle rastlos bohrenden und kreisenden Spermatozoiden. Nach $\frac{1}{4}$ Stunde werden die Bewegungen langsamer, klarer unterscheidet man die einzelnen Formen, doch nicht die beiden Wimpern, dann lösen sich die verschleimten Zellenwände nach und nach, und die Körperchen verschwinden aus dem Bereich des Antheridiums, dessen zuvor straffe Wand schnell zusammenfällt und nur noch als braunes, verschrumpftes Säckchen erscheint (Bild 12, g, i; Erklärung zu i unter „sekundäres Protonema“).

Auffallend durch Form und Größe entstehen auf dem Blütenboden zwischen den Antheridien, ihnen an Zahl etwa gleich, lange, einzellreihige Saftfäden, anfangs als einfache Haargebilde, dann aber durch Anschwellen ihrer oberen

Glieder keulenförmig mit kugelig aufgeblasener Endzelle. Die in ihnen enthaltenen Chlorophyllkörner findet man zeitweise in einer abweichenden, spitz ausgezogenen Teilungsform (Bild 11, a).

Weibliche Blüte. — Nicht offensichtlich, wie die ♂ Blüte inmitten ihrer ansehnlichen Rosette, sondern von knospenartig zusammenschließenden Hüllblättern verborgen, ist die ♀ *Funaria*-Blüte leicht zu übersehen; sie fällt erst mehr ins Auge, wenn nach der Befruchtung die Gipfelknospe sich derart vergrößert, daß man sie wohl mit einer Zwiebel verglichen hat. Im weiteren Gegensatz zur ♂ Blüte bringt die ♀ nur ein bis drei Archegonien hervor, und es ist eine recht mühsame Aufgabe, die verschiedenen, zum vollständigen Bilde erforderlichen Entwicklungszustände aufzufinden.

Die ersten Anfänge des weiblichen Organs bieten so viel Ähnlichkeit mit denen der Antheridien, daß man beide kaum zu unterscheiden vermag. Auch hier (Bild 13) wölbt sich eine Papille vor, gliedert sich durch eine Wand ab und teilt sich durch eine zweite in eine Fußzelle und in eine obere, die Archegoniummutterzelle. In dieser bilden schräge Wände eine zweischneidige Scheitelzelle, deren wenige Segmente (c) beim Aufbau des Fußes (d, g) verwendet werden. Die nun folgenden Teilungen vollziehen sich nach der in m schematisch dargestellten Regel, die in d zuerst zum sichtbaren Ausdruck kommt. Drei schiefe Wände lassen in der im Schema bezeichneten Folge eine Innenzelle entstehen, welche von drei Außenzellen eingeschlossen ist; aus diesen geht weiterhin die Wand des Archegonbauchs hervor, während die innere, gestutzt pyramidenförmige, oben gewölbte Zelle als Scheitelzelle nach außen drei Reihen peripherischer Segmente, die Zellen des Archegonhalses, abschneidet, nach unten durch Horizontalwände die als Zentral-, Bauchkanal- und Halskanalzelle unterschiedene innere Reihe hervorbringt (e). In Figur f ist durch Querwände die spätere Gliederung in Hals-, Bauch- und Fußteil bereits angedeutet. Am oberen Ende findet in der Längsrichtung eine einmalige Teilung durch radiale Wände statt, so daß der Hals im Querschnitt eine

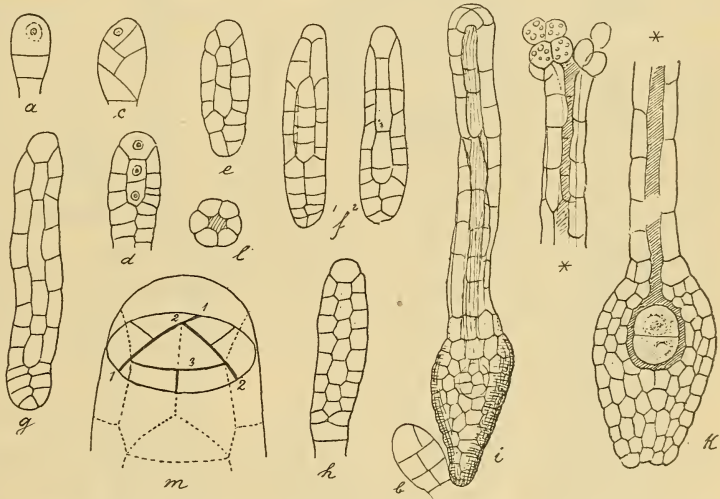


Abb. 13. Entwicklung der Archegonien. a jüngstes, i reifes, k befruchtetes, l¹ und i von außen, die übrigen im Längsschnitt, l Querschnitt durch den Hals, a—l 200:1, m Schema.

Innen- und sechs Außenzellen zeigt, er wächst aber durch Streckung und Querteilungen bedeutend in die Länge. Dagegen werden die zur Bildung der Wand des Archegonbauchs bestimmten Segmente durch wiederholte Längs- und Querteilungen, zuletzt noch durch Tangentialwände mehrschichtig, ebenso entwickelt sich der Stiel zu einem derben Zellkörper. An der Spitze tritt ein Abschluß dadurch ein, daß die Scheitelzelle sich durch gekreuzte Wände (i) zur Kappe umformt, deren Zellen, sobald das im Grunde des nun ausgewachsenen Archegons ruhende, aus der Zentralzelle hervorgegangene Ei geschlechtsreif geworden, trichterförmig auseinander weichen und so den durch Zuckerausscheidung¹⁾ im Halskanal chemotaktisch angezogenen Spermatozoiden das Einschlüpfen erleichtern. Das Eindringen der Samenzellen in den verschleimten Hals und den darauf folgenden Befruchtungsvorgang unter dem Mikroskop zu beobachten, ist bisher nur wenigen Moosforschern geglückt; aus dem Umstande, daß man selbst unter so günstigen Verhältnissen, wie Kulturen sie bieten, wohl reife oder befruchtete Archegonien antreffen, aber zahlreiche Blüten untersuchen kann, ohne ein geöffnetes, der Befruchtung harrendes zu sehen, geht hervor, daß diese Wartezeit bei *Funaria* äußerst kurz ist. Zudem erschweren die sechs und mehr scheidenartig übereinander greifenden Perichätialblätter, neben den als glatte Haare ausgebildeten Saftfäden eine treffliche Schutzvorrichtung gegen das Austrocknen, den Samenzellen den Zutritt zu den zarten Archegonien und damit die Befruchtung, bei deren Ausbleiben sie bald zugrunde gehen. Es müssen also verschiedene, günstige Bedingungen zusammenreffen, um die Verschmelzung des Eies mit einem der vielen Spermatozoiden zu ermöglichen; sonst wäre deren Erzeugung in einer an Verschwendung grenzenden Zahl nicht zu verstehen.

Das Archegon nach der Befruchtung. — Als Ergebnis der Befruchtung des Eies entwickelt sich auf dem Gametophyten der Sporophyt, die zweite, ungeschlechtliche oder embryonale Generation des Mooses, deren Aufgabe die Erzeugung der Sporen in dem gewohnheitsmäßig als Frucht bezeichneten Sporogon ist. Die erste sichtbare Folge dieses Vorganges macht sich in einer Bräunung des Halses bemerkbar, wodurch die Drehung seiner Zellen deutlicher hervortritt (Abb. 14, a); die dunklere Färbung greift auch auf den Bauchteil hinüber und verliert sich nach unten hin allmählich in ein blasses Gelb. Gleichzeitig strecken sich in dessen oberer Hälfte die Zellen unter erheblicher Verdickung ihrer Längswände, wodurch der ganze Archegonbauch eine auffallende Vergrößerung, vorwiegend in der Längsrichtung, erleidet und zunächst die Form einer gestutzten Spindel, dann die einer schlanken Säule annimmt (b, c). Alsdann beginnen an seinem unteren Ende die klein und zartwandig gebliebenen Zellen eine äußerst lebhafte Teilungstätigkeit zu entfalten, und zwar nur in den äußeren Schichten, so daß diese bald von den inneren, im Wachstum nicht

¹⁾ Nach Professor OLTMANNs ist bei allen Archegoniaten Äpfelsäure die Ursache dieser chemotaktischen Bewegungen.

gleichen Schritt haltenden, ringförmig losgerissen werden und anfangs einen schmalen Wulst, nach und nach eine dem Stiele des Archegons aufsitzende bauchige Erweiterung, schließlich einen ballonförmig aufgeblasenen Hohlkörper bilden, dessen hyaline Wand den inzwischen zu einem dünnen Faden verlängerten Stiel des jungen Sporogons durchschimmern läßt. Auf dieser Stufe ist die

Haube nicht mehr zu verkennen, über deren inneren Bau uns der Längsschnitt e, der sie noch im Zusammenhang mit dem Sproßende zeigt, sowie der Querschnitt f aufklärt. Wie eben erwähnt, beschränken sich die in a schon aus dem Größenunterschiede der Zellen ersichtlichen Teilungen am Grunde des Archegonbauchs auf wenige Schichten; Hy hat diesem Bildungsgewebe den Namen Epigonium

gegeben. Es entwickeln sich hier in den untersten fünf bis sechs Stockwerken die Zellen derart, daß sie nach oben hin gleichmäßig an Größe abnehmen und so einen stumpfen, oben durch äußerst kleine, zartwandige Zellen begrenzten, unten unmerklich ins Stengelgewebe übergehenden Kegel bilden. Aus den unmittelbar darüberliegenden Schichten geht der aufgeblasene Teil der Haube hervor; er ist, da Teilungen

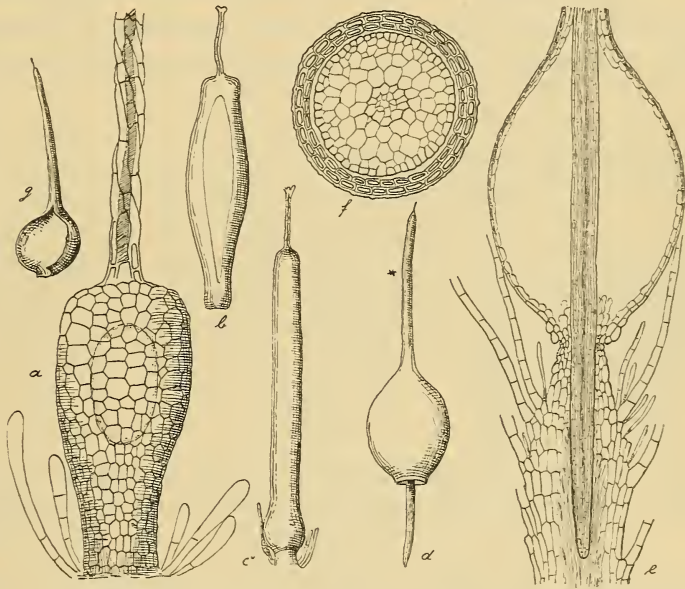


Abb. 14. a—e Entwicklungsformen des Archegoniums nach der Befruchtung, a—d in der Außenansicht, e im Längsschnitt, f Querschnitt durch d bei *, g Haube. a 150:1, b 30:1, c 25:1, d 10:1, e 30:1, f 150:1, g 7.5:1.

nur durch Längs- und Querwände, doch nicht in tangentialer Richtung stattfinden, aus zwei Schichten gebaut, von denen die innere dünnwandig, die äußere nach oben hin nach und nach dickwandig, beide nach dem verjüngten Grunde zu aus großen, lockeren Zellen gewebt sind, so daß zwischen ihnen und dem angrenzenden engmaschigen Zellkörper eine Zone entsteht, in welcher die geringste Zerrung einen Riß herbeiführen muß. Dazu genügt die Streckung des eingeschlossenen Sporogons. Die Haube wird an der durch die Zellwände gekennzeichneten Trennlinie ringsum losgesprengt und in die Höhe gehoben (d). Am Rande des als Scheidchen zurückbleibenden Kegels bemerkt man ein kragenartiges Häutchen, das sich aus der Zeichnung e leicht deuten läßt; es besteht aus Resten des bei Bildung der Haube zerrissenen Epigonialgewebes und ist offenbar gleichbedeutend mit der

von LIMPRICHT erwähnten Ochrea. Ähnliche Zellketten finden sich dort, wo der erweiterte Teil sich in den Schnabel verengert.

Bei wenigen Moosen ist die Bedeutung der Haube als Schutzorgan des Sporogons so klar ausgesprochen wie bei *Funaria*¹⁾; sie umhüllt seine zarten Jugendformen wie ein derbes Futteral (Bild 14 d, f) und hütet sie mit ihrem verdickten und stark verkorkten Zellgewebe vor Verletzungen und vor dem Vertrocknen; in ihre geräumige Höhlung wächst die junge Kapsel buchstäblich hinein und trägt später das durch ihre Dehnung einseitig aufgeschlitzte Gebilde (g) fast bis zur Reifezeit als ein dem Scheitel prall anliegendes Mützchen, das immer noch als Erinnerungszeichen seiner Herkunft den verdorrten Archegonhals an der Spitze des langen Schnabels trägt.

Der Embryo. — In dem Maße, wie das Epigon zur Haube auswächst, entwickelt sich, diese in ihrer Form beeinflussend, der eingeschlossene Embryo zum Sporogon. Die erste Veränderung des befruchteten Eies ist bei tiefer

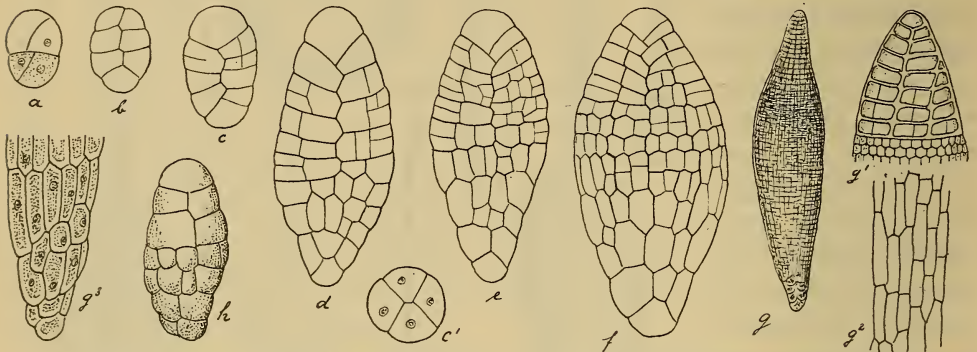


Abb. 15. *Funaria*-Embryonen in der Reihenfolge ihres Alters. a—f 200:1 im optischen Längsschnitt, c' = Querschnitt von c, g älterer, noch vom Archegon umschlossener Embryo 40:1, g¹⁻³ dessen oberes Ende, Zellen der Mitte und Fuß 200:1, h jüngerer Embryo 200:1. g, g¹⁻³, h in der Flächenansicht.

Einstellung des Rohres durch die nur 2—3schichtige Archegonwand hindurch auch ohne Aufhellungsmittel gut wahrzunehmen; übrigens gleitet es, da es weder auf dieser, noch auf einer späteren Entwicklungsstufe mit seiner Umgebung fest verbunden ist, bei vorsichtigem Druck aus dem dicht unterhalb durchschnittenen Archegonbauche leicht heraus und läßt nach Färben mit Methylenblau die Teilungsvorgänge im Innern in wünschenswerter Deutlichkeit hervortreten. Zunächst halbiert eine Querwand das Ei (Bild 13, k); in der oberen Hälfte bildet sich durch schräge Wände eine zweischneidige Scheitelzelle, eine ähnliche in der unteren (Bild 15, a, b), so daß der junge Embryo an beiden Enden wächst: am oberen wird in sehr regelmäßiger, lange Zeit deutlich erkennbarer Segmentierung die Kapsel angelegt, nach unten in weniger regelmäßigen Teilungen der Fuß (Bild 15, c—f), in dessen Zellwänden bereits, wie

¹⁾ Bei einer andern Funariacee, der *Pyramidula tetragona*, bildet die Haube sogar ein faltiges Säckchen, das das Sporogon bis zur Reife einschließt.

aus ihrem Verhalten zu Farbstofflösungen hervorgeht, die Leitungsfähigkeit für wässrige Flüssigkeiten nachweisbar ist. Schon in den jüngsten Segmenten, deren Trennungswand als mittlere Zickzacklinie sich bis in den Fuß hinein verfolgen läßt, treten in gleichem Abstand zwischen dieser und der Außenwand senkrechte Wände auf, die auch bei den fortschreitenden Quer- und den damit abwechselnden Längsteilungen im Längsschnitt älterer Embryonen als zwei gebrochene Linien (in f durch stärkeren Druck hervorgehoben) erkennbar bleiben: die schon auf dieser Stufe festgelegte Grenze zwischen Endothecium und Amphithecium, die sich beide nun nach bestimmtem Gesetz weiter entwickeln. In der Wandschicht aber vollzieht sich noch innerhalb des Archegonbauchs, wie der ältere Embryo g in der Außenansicht zeigt, die weitere Scheidung des Gewebes; scharf grenzen sich die großen, schräg aufsteigenden Zellen des Deckels gegen die kleinen, fast quadratischen der Mündungszone ab, während diese in allmählichem Übergang durch die zartwandigen, langgestreckten der Seta mit den eigenartig vorgewölbten Fußzellen verbunden sind. So sind schon jetzt die wesentlichen Teile des späteren Sporogons an ausgeprägten Merkmalen erkennbar. Die Differenzierung des inneren Gewebes werden wir dagegen übersichtlicher an weiter vorgeschrittenen Fruchtanlagen verfolgen.

Das Sporogon. — Den Höhepunkt im Leben der Moospflanze bildet der Aufbau des Sporogons; in diesem zur Erzeugung der Fortpflanzungszellen bestimmten Organ laufen gleichsam alle Fäden der Entwicklung zusammen, auf seine möglichst vollkommene Ausbildung zielen die verschiedenen Einrichtungen hin, in deren zweckmäßiger Anordnung nach Zeit und Raum ein wohlgedachter Plan unverkennbar ist. Während z. B. die für das Wachstum der inneren Teile notwendigen Spaltöffnungen schon früh angelegt werden, gelangt der erst nach der Sporenreife in Tätigkeit tretende Mundbesatz viel später zur Ausgestaltung; Dinge, die uns recht nebensächlich erscheinen, werden mit in diesen Bauplan hineingezogen, um irgendeine Aufgabe zu erfüllen. So ist das Zerreißen der Archegonwand eine Begleiterscheinung der Haubenbildung, es dient aber, indem es das Gewebe lockert, gleichzeitig dazu, dem bis dahin vom Archegon noch völlig umschlossenen Embryo (Bild 14, b) den Durchbruch zu erleichtern. In der Tat sehen wir seinen Fuß, wenn wir bei 14, c den Stiel durchschneiden, bereits im Begriff, durch diesen hindurch in das Stengelgewebe hinabzuwachsen; tief dringt er in dieses hinein (Bild 14, e) und erfüllt dabei ebenfalls einen doppelten Zweck: er gibt dem kräftig sich streckenden jungen Sporogon den nötigen Halt und stellt die denkbar günstigste Beziehung zur Mutterpflanze her.

Der Stiel. — Von den drei wesentlichen Teilen des Sporogons, Haube, Kapsel und Stiel, ist der letzte in seiner äußeren Erscheinung der einfachste, als Träger des Ganzen aber von besonderer Bedeutung. Sein Werden haben wir schon an dem Embryo g, Bild 15, beobachtet; seine weitere Entwicklung ist aus Fig. e, Bild 14, ersichtlich. In dem langgestreckten Zellkörper sehen wir

den jungen Fruchtsiel, wie er nach Durchbrechung der in der Zeichnung nur angedeuteten Schopfblätter in kurzer Zeit — ich konnte bei einzelnen eine tägliche Verlängerung von durchschnittlich 1 mm feststellen — als steife Borste zu einer Höhe auswächst, wie man sie ähnlich bei den größeren Lebermoosen antrifft, deren zarte Beschaffenheit er indessen keineswegs teilt. In fertigem Zustande beträgt seine Länge 3 bis 5 cm, an feuchten Standorten bis 7 cm. Die anfangs hellgrüne Farbe geht allmählich in strohgelb, gegen die Reifezeit in ein leuchtendes Rot über; ebenso ändert sich die in der Jugend straff aufrechte Haltung. Als würde die Seta von der Last der schwellenden Frucht niedergedrückt, schlängelt sie sich in seltsamen Windungen (s. Habitusbild S. 1) und bildet endlich einen schön geschwungenen, einem Schwanenhals vergleichbaren Bogen, der in die herabhängende Kapsel endigt. Nach dem Ausstreuen der Sporen pflegt sie sich wieder aufzurichten. Bei unserer *Funaria* ist sie außen völlig glatt; im Kreise ihrer Verwandten kommen aber auch Formen mit rauhem Stiel vor, wie die *Funaria verrucosa* in Bolivia durch ihren Namen verrät.

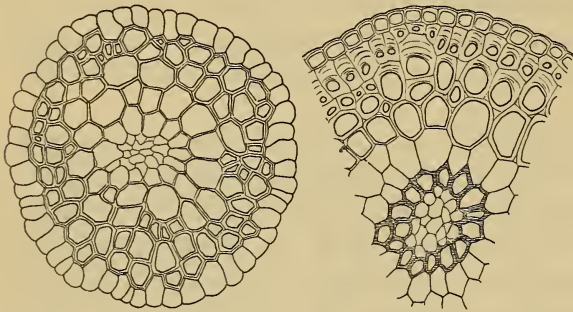


Abb. 16. Querschnitt durch die Seta, links innerhalb der Vaginula, rechts am oberen Ende. 300:1.

Der innere Bau der Seta in jugendlichem Zustande erinnert an den des Stammes. Fig. f in Bild 14 stellt einen durch d bei * geführten Querschnitt dar und zeigt den noch von der Haube umschlossenen Stiel. In der Mitte durchzieht ihn in seiner ganzen Länge, von einem schützenden Kranz größerer Zellen umgeben, das schon früh entwickelte Zentral-

bündel; das großmaschige Grundgewebe geht nach außen in kleinere, kaum verdickte Rindenzellen über. Wesentlich anders ist das Bild zur Reifezeit (Bild 16, rechts). Mit Ausnahme des Leitbündels sind alle Elemente verdickt; die braunen Zellen der Schutzscheide rings gleichmäßig, die ihnen benachbarten des Grundgewebes kollenchymatisch, die äußeren fast bis zum Verschwinden des Lumens, und zwar nach außen hin auffallend stärker, so daß sie in ihrem Zusammenhang einen gelbgefärbten Ring mechanischer Zellen bilden, der sich scharf von den quadratischen Zellen der Rinde abhebt. Ein derartig ausgestatteter, gleichsam aus mehreren ineinander geschobenen Röhren gebildeter Gewebekörper muß eine außerordentliche Biegsamkeit und Festigkeit besitzen, so daß er selbst bei größerer Länge den Angriffen von Wind und Wetter Widerstand zu leisten vermag; tatsächlich dauert er noch aus, wenn die Kapseln längst ihren Inhalt ausgestreut haben.

Abweichend von dem oberen Teil ist der Fuß der Seta gebaut; er bietet ein treffliches Beispiel dafür, wie ein Organ sich veränderten Verhältnissen anpaßt. Von den derben Zellen des Scheidchens geschützt und vom Stengel-

gewebe mantelartig umhüllt, bedarf er weder des mechanischen Ringes, noch der Schutzscheide, deshalb schwinden hier beide. Der Mangel verdickter Elemente kann neben der Dünnwandigkeit der Außenzellen (Bild 16, links) an dieser Stelle, wo die Überleitung der Nährlösungen auf dem Weg der Endosmose aus dem Leitbündel des Stammes in das des Stiels erfolgt, nur von Vorteil sein, darum sind am untersten Grunde sämtliche Zellen gleichmäßig zartwandig.

Eine Eigentümlichkeit, die der Stiel unseres Mooses mit dem vieler anderen gemeinsam hat, ist die beim Trocknen eintretende korkzieherartige Drehung um die Achse. Wie bei Ranken, die sich mit ihrem freien Ende irgendwo festgeklammert haben, sind diese Torsionen gegenläufig; bei Zutritt von Wasser lösen sie sich wieder, und da sie, einem Wetterglase gleich, Veränderungen im Feuchtigkeitsgehalt der Luft durch Kreisbewegungen der gleichsam als Zeiger dienenden Kapsel angeben, so hat man dieser *Funaria* den Artnamen „*hygrometrica*“ beigelegt.

Von älteren Moosforschern erwähnt HÜBENER diese hygroskopische Eigenschaft des Fruchts Stiels und behauptet, daß sie an Pflanzen mit entleerten Kapseln am stärksten entwickelt sei; SCHIMPER macht auf die gegenläufigen Drehungen bei *Funaria* u. a. aufmerksam; LIMPRICHT verwertet sie für systematische Zwecke und deutet sie als eine „das Ausstreuen der Sporen wesentlich erleichternde Einrichtung“. Die Erklärung dürfte in dieser Verallgemeinerung wenige befriedigen, und wer einmal unsere *Funaria* im Freien beobachtet hat, wie die Sporogone sich auf ihren biegsamen Stielen im Winde zitternd hin- und herwiegen, wird die Notwendigkeit einer solchen Erleichterung bestreiten. Man könnte sie allenfalls gelten lassen, wenn gedrehte Seten auf Moose mit geneigter oder hängender Kapsel beschränkt wären, obwohl auch bei solchen an eine Schleuderwirkung dieser sanften Achsenumdrehungen nicht zu denken ist; wie aber die vielen Arten mit aufrechtem Sporogon, wie z. B. eine *Barbula*, dadurch veranlaßt werden könnte, sich ihrer Sporen zu entledigen, ist nicht einzusehen; bei kleistokarpen Formen vollends, wie *Voitia nivalis*, wäre die ganze Einrichtung ebenso zwecklos wie die zahlreichen, schon vor der Kapselöffnung ausgeführten Drehungen der Seta bei jedem einzelnen Moose. Viel näher liegt doch der Gedanke an die verschieden, z. B. durch Drehungen der Blatt- und Blütenstiele, sich äußernden Bemühungen der höheren Gewächse, ihren einzelnen Organen zum richtigen Genuß des Lichtes zu verhelfen. Auch die Moosfrucht kann dieses nicht entbehren, auch sie wird bei möglichst allseitiger Belichtung am besten gedeihen; wie ist eine solche für die natürlichen Standorte dieser Pflänzchen, an Felsen, Mauerwänden, steilen Böschungen, anders zu ermöglichen, als durch eine Vorrichtung, die selbsttätig alle Seiten des Sporogons der Lichtwirkung zugänglich macht? Dieses im Morgentau anders einzustellen, als im Strahl der Mittagssonne, ist wohl eine Aufgabe der Seta, wichtiger und für Entwicklung und Reife der Sporen notwendiger, als deren Verbreitung, wofür ohnehin die Natur sogar bei geschlossen bleibender Kapsel sorgt.

Von diesem Gesichtspunkt aus betrachtet, wird auch die jedem Moosfreunde bekannte Erscheinung verständlich, daß geneigte oder hängende Sporogone eines Rasens oft sämtlich nach der Lichtseite gerichtet sind; ich erinnere nur an die Bartramiaceen, manche *Brya* (*Br. capillare*, *Br. uliginosum*), *Mnium hornum* und *M. cuspidatum* (an einem Rasen dieser Art zählte ich 75 Kapseln, davon 71 nach einer und derselben Seite gewendet), *Webera polymorpha*, bei deren hochalpinen Zwergformen man diese Einseitigkeit am strengsten durchgeführt findet¹⁾. Es sind das durchweg Arten mit steifen oder nur spärlich gedrehten Stielen; man kann dieses Verhalten der Kapseln kaum anders erklären als durch Lichtreiz. Da sie keine Beweglichkeit besitzen, so stellen sie sich derart, daß der die größere Oberfläche bietende, stärker gewölbte Rücken dem Lichte zugewendet ist.

Doch zurück zu unserer *Funaria* und den seltsamen Kreisläufen ihrer Kapsel! Das auffallende Zahlenmißverhältnis zwischen diesen Bewegungen und den scheinbaren Drehungen der Seta ließ es wünschenswert erscheinen, näheres über ihren Zusammenhang zu ermitteln; es kam dabei die Empfindlichkeit des Stieles zustatten, die so groß ist, daß er beim Bestreichen mit einem nassen Pinsel schnell seinen Turgor annimmt, innerhalb einer Minute aber wieder trocken wird und sich aufwindet. Verfolgt man diese wechselnden Vorgänge unter einer scharfen Lupe, so bemerkt man nur wenige wirkliche Drehungen um die Achse, gewinnt vielmehr den Eindruck, als lege sich die eintrocknende Epidermis über spiralig angeordnete Stereidenbündel, so daß in Schraubenlinien aufsteigende Leisten und Falten entstehen. Die Vorstellung gewinnt an Wahrscheinlichkeit durch den Nachweis, daß diese Faltungen, durch einen Farbstoff äußerlich gekennzeichnet, nach dem Befeuchten der Seta auch als deutliche Spiralen, durch die hierbei stattfindende Dehnung gestreckt, sichtbar bleiben, und ist mit dem Bilde des Setaquerschnittes Bild 16 rechts, wohl vereinbar. — Reihenschnitte würden die Frage klären!

Diese Torsionen treten an der im frischen Zustande durchaus stielrunden, beim Trocknen sich bandförmig verflachenden Seta in verschiedener Anzahl so gesetzmäßig auf, daß sie sich als Artmerkmale brauchbar erweisen. Während *Funaria dentata* deren nur wenige nach links gedrehte aufweist, kann man bei *F. hygrometrica* im unteren Teil bis zu 15 steil nach links aufsteigende, im oberen Drittel bis zu 25 kurz und scharf nach rechts gewundene zählen, dazwischen liegt eine neutrale Zone, von der gewissermaßen die Spannung ausgeht. Handelte es sich hier nun um einfache Drehungen der Achse, so müßte die Kapsel ihnen jedesmal in annähernd gleicher Zahl folgen, in diesem soeben genannten Falle also zehn Umdrehungen machen, wenn wir berücksichtigen, daß von den 25 rechtsläufigen Windungen 15 durch die linksläufigen aufgehoben

¹⁾ Ähnliche Anschauungen über Phototropismus vertritt LOESKE in „Bryol. Beobachtungen a. d. Algäuer Alpen. 1907“. Im übrigen gehört nach FRANCE „die Beurteilung der Lichteinflüsse zu den allerschwierigsten Kapiteln der Naturforschung“.

werden; ich konnte indessen an der Kapsel, selbst bei künstlicher Wärme, nie mehr als fünf Umläufe feststellen.

Läßt man die angefeuchtete Seta nicht frei beweglich, sondern an beiden Enden eingespannt, trocknen, so zeigt sie nachher die früheren Windungen, nur in weit geringerer Zahl; durchschneidet man sie an der neutralen Zone und behandelt die beiden Stücke ebenso, so behält das untere, längere seine steilen Linkswindungen bei, während das obere ein umgekehrtes Bild der unversehrten Seta bietet: der untere Teil dreht sich nach rechts, der obere nach links.

Gestatten diese Beobachtungen auch kein endgültiges Urteil über Wesen und Zweck der besprochenen Bewegungen, so lehren sie doch so viel, daß die sogenannten Drehungen der Seta nur zum Teil auf Achsenumdrehungen beruhen und daß nur wenige davon auf die Kapsel übertragen werden¹⁾. Ohne Zweifel üben diese Torsionen aber, trotz der Schutzscheide, einen Druck auf das Leitbündel aus und bilden vielleicht, indem sie seine Kapillartätigkeit steigern oder mindern, eine Reguliervorrichtung für die Wasserzufuhr zum Sporogon.

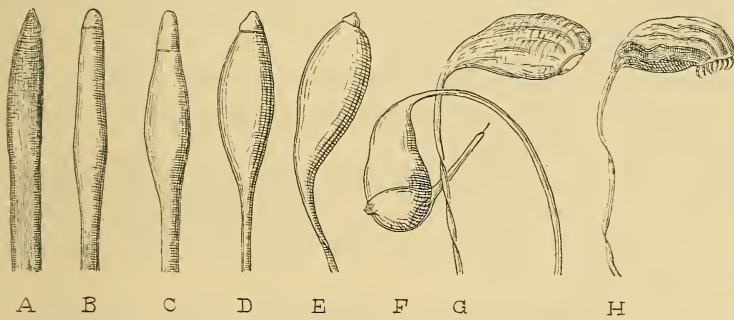


Abb. 17. Entwicklungsformen der *Funaria*-Kapsel.

Die Kapsel.

— In seiner großzügigen Schreibweise bezeichnet KARLMÜLLER die Moosfrucht als „das obere verdickte Ende des Mooseies“. Das ist für jedermann verständlich. Von

der Verdickung des Embryo bis zu dem hochentwickelten Gebilde, das wir Mooskapsel nennen, ist's aber ein weiter Weg, den wir zweckmäßig in kleinere Abschnitte zerlegen; unser Moos kommt uns hierbei entgegen, indem sein sporenbildendes Organ einen Formenkreis durchläuft, dessen einzelne Gestalten sich in ihrem Bau als wohlausgeprägte Entwicklungsstufen kennzeichnen. Bild 17 zeigt uns die ganze Reihe von dem Zeitpunkte an, wo das junge Sporogon die Haube hebt (Bild 14, d) bis zur Überreife; in der folgenden Übersicht sind kurz die jeder Form eigentümlichen Merkmale angegeben und zur Vermeidung von Wiederholungen sollen die beigegefügtten Buchstaben auch weiterhin als Bezeichnung dienen. Die Größenangaben sind Durchschnittszahlen.

A. Kapsel walzenförmig, kegelförmig zugespitzt. Deckel und Stiel noch nicht abgesetzt. 0,2 mm dick. Zellen der Außenwand quadratisch bis

¹⁾ Bei *Racomitrium canescens*, dessen Stiele nur nach einer Richtung gedreht sind, stellte ich auf zehn Torsionen der Seta zwei Umdrehungen der Kapsel fest.

länglich rechteckig, 0,005—0,007 mm breit und 0,007—0,011 mm lang. In den oberen Segmenten schimmern die Wände des Grundquadrats, in den tieferen die ersten Teilungen im Endothecium und Amphithecium durch.

- B. Kapsel durch Schwellung der Apophyse von dem steif aufrechten Stiel abgesetzt, Deckel durch seichte Einschnürung unterscheidbar. Länge (von der Spitze bis zur Seta) 0,7 mm, Dicke 0,2 mm. Spaltöffnungen beginnen sich zu bilden.
- C. Kapsel spindelförmig, 1,0 mm lang, 0,25 mm dick. Luftraum in der Entstehung begriffen. Seta leicht gekrümmt. Deckel 0,2 mm hoch, eichelförmig.
- D. Gedrungene Spindelform. Länge 1,5, Dicke 0,6 mm. Sporensack, Luftraum mit Spannfäden noch klein, doch im wesentlichen fertig. In den Ringzellen nimmt die Verdickung der Wände ihren Anfang.
- E. Kapsel bauchig, auf gebogenem Stiel nickend bis wagerecht; 2 mm lang, 1 mm dick. Deckel hochgewölbt mit Warze. Peristom in zarten Schatten angedeutet. Zellen der Rücken- und Bauchseite in Form und Größe verschieden.
- F. Schiefbirnförmig, auf bogigem Stiel hängend. Länge 2,3, Dicke 1,1 mm. Peristom schimmert orange unter dem flach kuppelförmigen Deckel. Sporenmutterzellen in Teilung.
- G. Hochrückige, reife Kapsel, auf rötlicher Seta gelb mit dunkleren Streifen. Äußeres Peristom 0,5 mm lang. Ring reifenförmig. Deckel fast flach, ohne Warze. Wandzellen der Mitte 0,02—0,08 mm lang, 0,0168—0,025 mm breit.

H. Entdeckelte und entleerte Kapsel. Weitmündig, braun, tief gefurcht.

Der Zeitraum, innerhalb dessen sich diese Wandlungen vollziehen, ist bei unserer *Funaria* kurz. Auf meinen Kulturen entstanden bis Anfang Mai nur blütenlose Gametophyten; die ersten befruchteten Archegone wurden Mitte Juni, die ersten reifen Sporogone Ende September (die letzten vier Wochen später) beobachtet; ihre Entwicklungsdauer betrug also $3\frac{1}{2}$ (bis $4\frac{1}{2}$) Monate. Wenn hiervon die von Dr. A. GRIMME a. a. O. mitgeteilten Zahlen, nämlich 9—12 Monate für Deutschland und (nach ARNELL) 10—12 Monate für Skandinavien erheblich abweichen, so erklären sich diese Unterschiede leicht durch den Umstand, daß die Moose im Freien mancherlei Störungen und Verzögerungen im Wachstum unterworfen sind, die bei aufmerksamer Pflege im Blumentopf fortfallen. Doch auch unter den günstigsten Verhältnissen dürften $3\frac{1}{2}$ Monate als unterste Grenze gelten und die von RUHLAND als kürzeste Frist für die Gesamtentwicklung der *Funaria*-Kapsel angegebenen $1\frac{1}{2}$ Monate nur unter außergewöhnlichen Bedingungen genügen.

Hier ist nun der Punkt, wo wir, um den inneren Ausbau der Kapsel kennen zu lernen, an das unter „Embryo“ Gesagte anknüpfen wollen und dazu ein ganz junges Sporogon A behutsam aus der verhüllenden Haube herausziehen.

Das 4 bis 6 mm lange Gebilde, dessen Außenansicht sich von der in Bild 15, g dargestellten nur durch länger gestreckte Zellen des Stielteils unterscheidet, läßt an seiner stumpfkegelförmigen, von der Scheitelzelle gekrönten Spitze im optischen Längsschnitt (Bild 18, a) deutlich die jüngsten Segmente erkennen. Sie sind zunächst durch je eine senkrechte Wand halbiert, so daß ein innerer, zwei Schichten breiter Zellkörper und eine einreihige Außenschicht entstehen; jener entwickelt sich zum Endothecium, aus dem Säulchen, innerer Sporensack und sporenbildende Schicht hervorgehen, diese zum Amphithecium, woraus äußerer Sporensack, Luftraum und Kapselwand entstehen. Die vorbereitenden Teilungen sind in den tieferen Segmenten bereits sichtbar.

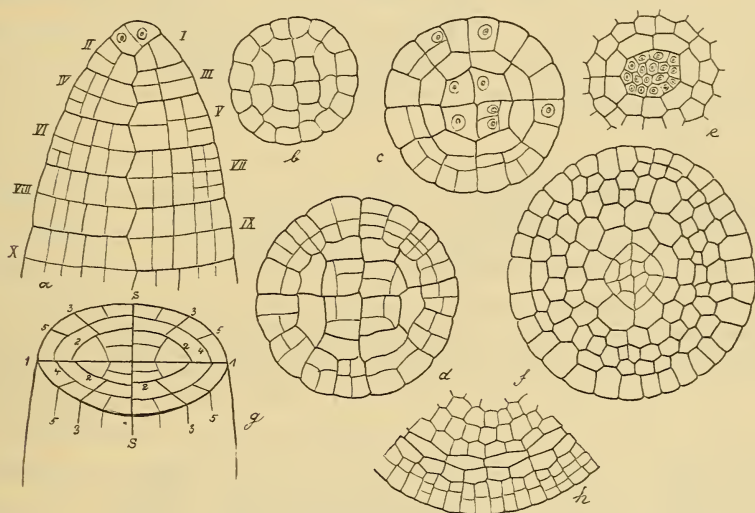


Abb. 18. Entwicklung der *Funaria*-Kapsel. a Spitze eines 4,5 mm langen, 0,14 mm dicken Sporogons A im optischen Längsschnitt, b-f Querschnitte: b durch Segmente IV-V, c durch V-VI, d durch VIII-IX, f durch den Apophysenteil, e Kolumellazellen, umgeben von den acht Zellen, die inneren Sporensack und Archespor liefern, g Schema der Teilungsfolge, h Viertelquerschnitt durch den Urnenteil einer B-Form. a-h 300:1.

Zum Verstehen dieser Teilungsvorgänge, die durch ihre Regelmäßigkeit den ganzen Körper wie aus würfelförmigen Zellen gebaut erscheinen lassen, sind unbedingt Querschnitte erforderlich, die wir von oben her in möglichst vollständiger Reihe durch die Spitze des Sporogons ausführen; wir gewinnen so, da sich gesetzmäßig das Einzelne in jedem Segment wiederholt, mit jedem Schnitt in absteigender Folge das Bild einer weiter vorgeschrittenen Entwicklungsstufe.

Aus dem in Fig. 18, g gegebenen Teilungsschema ist ersichtlich, daß die Segmentwand S zunächst durch eine senkrechte Wand 1 im rechten Winkel halbiert wird, daß die so entstandenen vier Viertelkreise dann durch die Periklinen 2 und die hierauf gebildeten Radialwände 3 in je eine dreiseitige Innen- und zwei vierseitige Außenzellen zerlegt werden. So lautet das Ergebnis der neueren Forschungen für die *Bryales* im allgemeinen und für *Funaria* im

besonderen. Die Bestätigung ist äußerst schwierig, da nur selten junge Sporogone anzutreffen sind, deren Segmente sich durch mehrere Stockwerke auf diese ersten Wände beschränken und beweisende Querschnitte liefern; meist erscheinen schon im zweiten oder dritten weitere Teilungen, so daß man günstigenfalls durch Schnitte aus freier Hand ein Bild erhält, das wie Fig. 18, b die Segmente IV und V im Querschnitt darstellt, leider aber keinen Rückschluß auf die Entstehungsart der Wände 2 und 3 zuläßt. Um so klarer liegen die Verhältnisse bei den folgenden Schnitten, von denen c die Segmente V—VI, d die VIII—IX getroffen hat, während f durch den Apophysenteil geführt ist.

Aus all' diesen Bildern tritt uns als Grundgedanke im Aufbau der Kapsel die Vierzahl entgegen; sie findet ihren ersten Ausdruck im Grundquadrat, kehrt vervielfältigt in den um dieses als gemeinsamen Mittelpunkt strahlenförmig angeordneten Zellenkreisen wieder und beherrscht trotz aller Verschiebungen den ganzen verwickelten Bauplan bis zur Vollendung des kunstvollen Gebildes.

Unter „Grundquadrat“ versteht man die durch die ersten Teilungen gebildete Gruppe inmitten der jungen Fruchtanlage, welche sich aus vier viertelzylindrischen, im Querschnitt anfangs viertelkreisförmig, dann annähernd rechteckig erscheinenden Zellen zusammensetzt (18, b); ihre äußere Wand bezeichnet, wie bemerkt, die Grenze zwischen Endothecium und Amphithecium. Indem jede dieser vier Wände durch eine Antikline (3 des Schemas) mit der Außenwand verbunden wird, die so gebildeten acht Zellen sich einmal durch je eine perikline (4), dann durch eine radiale (5) Wand teilen, entsteht ein aus 4 zentralen, 8 mittleren und 16 äußeren Zellen gefügter Grundriß. In diesem werden die 4 Zentralzellen zunächst durch je eine antikline, dann durch eine zu dieser rechtwinklige Wand (Fig. c, d) in drei Zellen gelegt; der solcher Art entstandene Kranz von 8 äußeren Zellen liefert Archespor und inneren Sporensack; die 4 inneren, das „Kolumellaquadrat“ bildenden teilen sich jede über Kreuz, und aus den sich ergebenden 16 Zellen (18, e) geht das Säulchen hervor.

Außerhalb des Grundquadrats finden inzwischen mehrere Teilungen in tangentialer Richtung statt, und indem die anfangs querebreiteren Zellen hierauf wiederholt durch radiale Wände gefächert werden (18, d), wächst ihre Zahl auf 16—32; es sind die Schichten, die weiterhin den äußeren Sporensack und die Kapselwand bilden.

Diese gesetzmäßigen Vorgänge vollziehen sich natürlich nur in den für die Sporenentwicklung in Anspruch zu nehmenden Segmenten des oberen Kapselteils; in der unteren Hälfte verlaufen die Teilungen insofern wesentlich anders, als hier statt der Kolumella ein der äußeren Kapselform angepaßtes, aus großen, zartwandigen Zellen gebildetes Parenchymgewebe entsteht, das im Querschnitt gleichfalls vier Zentralzellen zeigt, um welche Kreise von je 8, 16, 32 polyedrischen, nach oben hin sich nach und nach vergrößernden Zellen angeordnet sind; hieran schließt sich unmittelbar (Bild 20, d) das sogleich zu besprechende Schwammgewebe.

Schon an kräftigeren Formen der Stufe A heben sich die Rindenschichten durch dichten, protoplasmatischen Inhalt und geringere Größe scharf von den inneren Kreisen ab (Bild 19, a). Sie befinden sich in reger Vermehrung durch Bildung zahlreicher neuer Radial- und Tangentialwände, so daß man in der peripherischen Schicht bereits 64 bis 96 Zellen wahrnehmen kann.

Äußerlich tritt dieser Vorgang durch eine sanfte Anschwellung der Kapselmitte in die Erscheinung und führt damit zur Form B hinüber; durch weiteres Dickenwachstum geht diese zunächst in die schlanke C, dann in die gedrungene Spindelform D über, die deutlich eine Neigung zu ungleichmäßiger Entwicklung erkennen läßt, wie sie der folgenden Form eigen ist. Auf der D-Stufe ist die Kapsel in ihren einzelnen

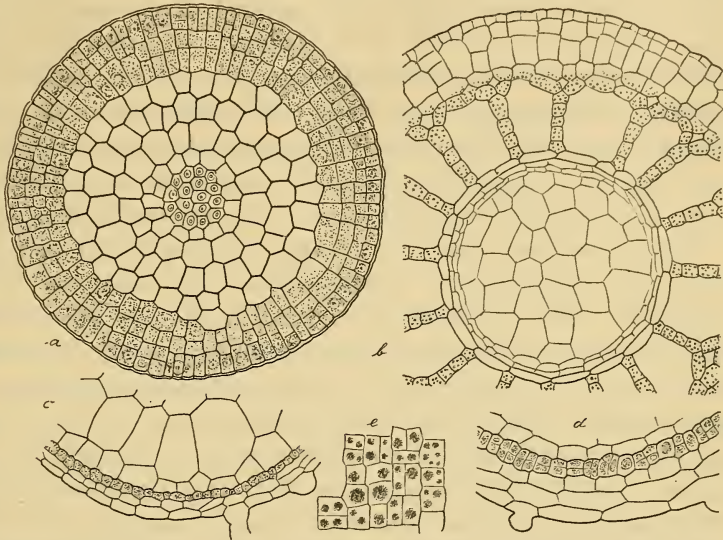


Abb. 19. a Querschnitt durch eine ältere, 0,22 mm dicke Kapsel der Form A 300:1; b Querschnitt durch eine Übergangsform von E zu F dicht unter der Mündung 120:1, c durch deren Sporensack mit differenzierten Sporenmutterzellen; d diese in Teilung begriffen und e von der Fläche gesehen (Methylenblaufärbung) bei Form F 150:1.

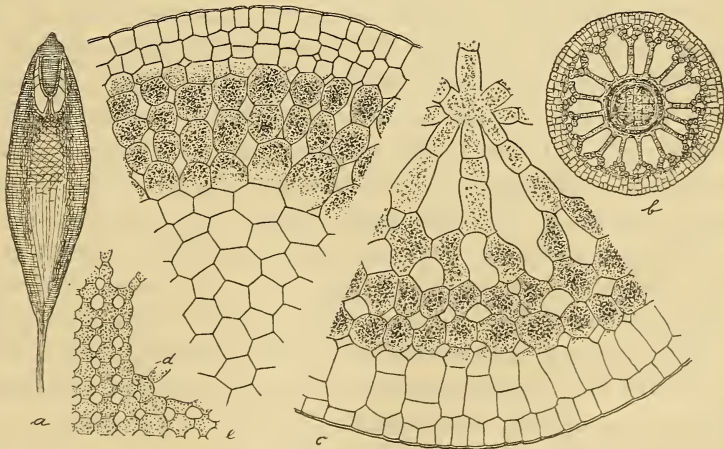


Abb. 20. a Kapsel D im Längsschnitt (etwas schematisiert), b deren oberer Urnteil im Querschnitt 30:1. Der Schnitt ist so dick ausgeführt, daß die Spannfäden unversehrt geblieben sind; c Querschnitt unterhalb des Sporensacks 120:1, d durch den Apophysenteil 150:1; e eine Kulisse des Schwammgewebes 30:1.

Teilen, ausgenommen Archespor und Peristom, schon so weit ausgebildet, daß nur noch die Größenverhältnisse sich ändern; ein medianer Längsschnitt (Bild 20, a) zeigt uns deren Anordnung im Kleinen sehr übersichtlich. Wir

sehen den stumpf kegelförmigen Deckel noch ohne Andeutung eines Peristoms, darunter die Kolumella, beide von einem gleichmäßig lockeren Gewebe großer, dünnwandiger Zellen ausgefüllt, diese umhüllt von dem noch sehr kleinen Sporensack; er steht mit der Kapselwand durch straff gespannte, den Luftraum durchquerende Fäden in Verbindung. Von unten her tritt aus dem Stiel das keulenförmig erweiterte Leitbündel ein und geht oberwärts in das chlorophyllfreie Parenchymgewebe über, das rings von dem tiefgrünen, bis zur oberen Grenze des Luftraumes fortgesetzten Assimilationsgewebe eingeschlossen ist. Bild 20, b zeigt einen Querschnitt durch die Kapsel mit Säulchen, Sporensack, den gegabelten Spannfäden und der mehrschichtigen Außenwand.

Bevor wir uns näher mit diesen einzelnen Teilen und ihren Beziehungen zueinander beschäftigen, verfolgen wir den weiteren Formenwechsel des Sporogons. Bei der Stufe E, die im Innern die Entwicklung der sporenbildenden Schicht zeitigt und die erste schattenhafte Andeutung des Mundbesatzes bringt, äußert er sich in einem auffallend einseitigen Wachstum; man unterscheidet, infolge einer leichten Krümmung der Seta, deutlich eine obere und eine untere Seite und diese wölbt sich nun bauchig vor, so daß der Deckel fast auf die Rückseite verschoben wird. Bei der Form F holt die letzte die Rückständigkeit im Wachstum nicht nur ein, sondern dehnt sich derart in die Länge und Breite, daß die Mündung der jetzt schiefbirnförmigen Kapsel auf die Bauchseite gerückt und schließlich von dem hohen Rücken wulstartig überragt wird — eine Erscheinung, die zu der Vermutung Anlaß geben könnte, daß eine Drehung des Sporogons hierbei stattfindet, würde man nicht durch die Oberhautzellen belehrt, daß die Bauchseite wirklich ihre Entwicklung abgeschlossen hat, während die Zellen der Rückseite noch in lebhafter Teilung begriffen sind. Auf der F-Stufe beginnt die Sporenbildung. Das bis dahin noch völlig grüne, sonst aber ausgewachsene Sporogon nähert sich der Vollendung und gibt dies durch Auftreten eines rötlichen Farbstoffes in Ring und Peristom zu erkennen. Die reife *Funaria*-Kapsel (17, G) ist hälftig-symmetrisch, schief birnförmig, ziemlich rasch in den Stiel verschmälert, 2,5—4 mm lang und 1,25—2 mm dick, gelb bis braun mit orange gefärbtem Ring und Deckelrand, durch die zu deutlichen Querreihen geordneten Epidermalzellen wie geringelt; 16 dunklere Streifen ziehen sich, vorwiegend auf dem Rücken, bis zur Mitte hinab und erscheinen an der trocknen Büchse als scharfe Rippen. Sie bleibt lange geschlossen und ist nach dem Abwerfen des Deckels dunkler gefärbt, weitmündig und tieffaltig (17, H).

Als Zeit der Kapselreife werden für unser Moos alle Jahreszeiten mit Ausnahme des Winters angegeben; von HÜBENER der Frühling, von KARL MÜLLER und SCHIMPER der Sommer, von v. KLINGGRÄFF Frühjahr bis Herbst, von LIMPRICHT die Monate Mai—Juni, von GRIMME Juli—Oktober. Das ist nach dem über die Blütenverhältnisse Gesagten nicht auffallend. Tatsächlich findet der aufmerksame Beobachter selbst mitten im Winter *Funaria*-Rasen mit Früchten in den verschiedensten Entwicklungszuständen, auch mit frisch

gereiften. Ein vollkommen ausgebildetes Sporogon der *Funaria hygrometrica* ist, wie aus Obigem hervorgeht, nur durch einen medianen Längsschnitt in zwei spiegelbildliche Hälften zu zerlegen. Die Schnittfläche eines solchen (Bild 22, c) läßt alle wesentlichen Teile, deren Einzelbetrachtung wir uns nunmehr zuwenden, erkennen.

Die Kapselwand. — Dem schön gegliederten Innern des *Funaria*-Sporogons entsprechend ist die äußere Wandung so reich ausgestattet, wie bei wenigen anderen Moosen. Im Halsteile bringen die zahlreich erscheinenden Spaltöffnungen schon früh Abwechslung in die Gleichförmigkeit des Gewebes; eine noch größere Verschiedenheit macht sich mit der Ausbildung einer Rücken- und Bauchseite, also an der Form E, bemerkbar. Während sich um die Urnenmündung ein sechs- bis achtschichtiges Band sehr breiter, niedriger Zellen legt, formen sich die darunter liegenden Reihen der Unterseite vorwiegend aus quadratischen und querebreiteren Maschen; auf der Oberseite hingegen wechseln hellere Streifen, aus gleichmäßig verdickten, rechteckigen oder rhombisch-sechseckigen, mehr in der Längsrichtung gestreckten Zellen gewebt, mit schmäleren, dunkler gefärbten, in denen die Längswände auffallend stark und ungleichmäßig, bisweilen fast bis zum Verschwinden des Zellumens, verdickt sind; sie setzen sich bis über die halbe Büchse fort und veranlassen deren zierliche Faltung beim Trocknen. So verschieden aber auch die Wandzellen in Gestalt und Größe sind — ihre Höhe beträgt 0,02 bis 0,08 mm — so deutlich ordnen sie sich doch in Querreihen und erinnern damit auch an der reifen Kapsel an die Regelmäßigkeit ihrer Entstehung. Und das Gleiche gilt für die Zahlenverhältnisse; unter der Mündung sind's ihrer 64, jedem Peristomzahn gegenüber 4; im Apophysenteil zählt man 128 und am größten Umfang der Urne 256 in der Reihe: Zahlen, die nur innerhalb enger Grenzen schwanken und einer 4—5—6maligen Zweiteilung der ursprünglichen 4 Quadranten entsprechen (Bild 23).

Nach innen zu liegt unter der schwach verdickten Epidermis ein chlorophyllfreies, sehr lockerzelliges, zweischichtiges Wassergewebe (Bild 19, b; 20, c, d) und auf dieses folgt das Assimilationsgewebe, das im Halsteile in unmittelbarer Verbindung steht mit den

Spaltöffnungen. — An der unteren Hälfte junger Sporogone der B- oder C-Form bemerkt man bei etwa 300maliger Vergrößerung zahlreiche größere, von einem Kranz von je 8 bis 10 kleineren umgebene Zellen, die durch eine zarte Längswand halbiert sind und durch ihren Inhalt: große, stark lichtbrechende Körner, die sich mit Jodlösung schnell tiefblau färben und dann als dunkle Ovale von ihrer Umgebung abheben, sofort in die Augen fallen; das sind die ersten Entwicklungszustände der Spaltöffnungen (Bild 21, a). Anfangs von denen anderer Moose nicht verschieden, zeigen sie bald ein abweichendes Verhalten; während die die beiden Zellhälften teilende Wand im Wachstum zurück- und als pfeilerartiger Rest zwischen den beiden freien Wänden stehen bleibt, sich spaltet und so den schlitz- oder linsenförmigen Porus bildet,

verschmelzen die beiden Schließzellen zu einem fast kreisförmigen Schlauch, in dem man auch später noch neben den Stärkekörnern die ursprünglichen zwei Zellenkerne findet; er liegt in der Ebene der Oberhaut und greift mit seiner äußeren Wand, wie aus Längs- und Querschnitten ersichtlich ist (21, e, f), über die Nachbarzellen hinüber, wodurch sich der doppelte Umriß in der Flächenansicht erklärt. Die Spaltöffnungen unserer *Funaria* sind also einzellig, schildförmig (ihrer Eigenart wegen werden sie als „*stomata funarioidea*“ unterschieden) und phaneropor, 0,036 bis 0,039 mm hoch; an älteren Kapseln erscheinen sie durch Verdickung der 10 bis 16 von ihnen ausstrahlenden Zellwände sternförmig (21, d); sie liegen, bisweilen zu 2—3 dicht nebeneinander, in mehr oder weniger deutlichen Längs- und Querreihen, so daß man auf entsprechenden Schnitten meist mehrere nahe beisammen sieht (21, e, f). In der Regel sind sie reichlich vorhanden, bleiben jedoch auf den Apophysenteil be-

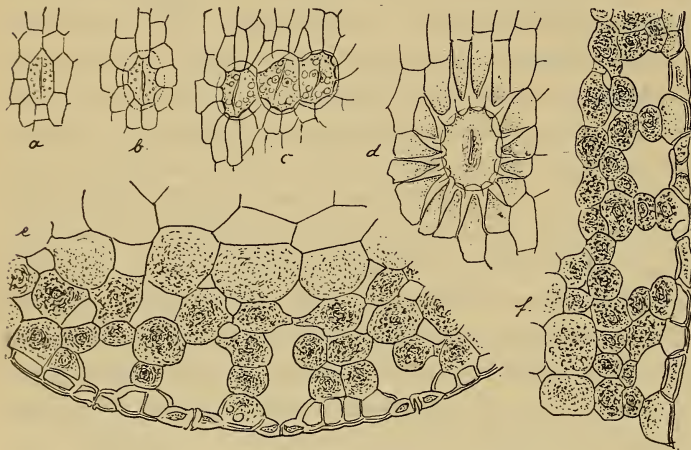


Abb. 21. Spaltöffnungen der *Funaria*, a der B-Form, b, c der D-Form, d der reifen Kapsel; e Quer-, f Längsschnitt durch die Wand der E-Form mit je 4 Spaltöffnungen (in f ist bei der zweitoberen der Porus sichtbar) 200:1.

schränkt; an einem kräftig entwickelten Sporogon von 4 mm Längsstelle ich ihre Zahl auf 329 fest, und zwar verteilten sie sich hier in 12 Querreihen auf einem 1,25 mm breiten Gürtel über eine Fläche von 5 qmm. Diese Verhältnisse treten besonders schön hervor, wenn man die sauber gereinigte Wand einer reifen Kapsel in wässrige

Methylenblaulösung legt: die Spaltöffnungen bieten dann als goldgelbe Sterne im dunkelblauen Maschenwerk einen herrlichen Anblick. Mit der äußeren Luft stehen sie durch den Spalt, mit dem Innern des Sporogons durch eine geräumige Atemhöhle in Verbindung.

Das Assimilationsgewebe. — Die Entwicklung des den wasserführenden Wandschichten aufgelagerten grünen Gewebes ist leicht verständlich, wenn man die beiden Querschnitte 19, a und 20, d nebeneinander betrachtet. Die in lebhaftem Wachstum begriffenen Zellen der inneren protoplasmareichen Kreise runden sich, so daß dort, wo mehrere zusammenstoßen, kleine Hohlräume entstehen; diese vergrößern sich, vereinigen sich mit benachbarten und runden sich nun ihrerseits ab; infolgedessen nehmen die anfangs abgestumpft vierseitigen Zellen in der Mehrzahl die Form eines plumpen Kreuzes an, dessen Arme sich strecken und den Zusammenhang mit ihren Nachbarn mehr

und mehr lockern (20, c). Auf diese Weise kommt ein Schwammparenchym zustande, das gegen die Kapselmitte seine größte Ausdehnung erreicht, hier als verworrenes, großlückiges Gewebe den ganzen Innenraum ausfüllt und sich nach oben bis zum Urnenrande fortsetzt. (Bild 22, c); unterwärts umfaßt es das Zentralbündel, das sich bald nach seinem Eintritt in den Hals in ein großmaschiges, sehr regelmäßig polyedrisches, wasserhelles Parenchym auflöst und mithin eine vom untersten Ende des Stammes bis zum Sporensack durchgeführte Leitungsbahn darstellt, deren Zellen nur an einer einzigen Stelle nicht organisch verbunden sind.

Der Luftraum. — Das vorhin erwähnte, vermehrte Wachstum der äußeren Zellschichten führt im oberen Kapselteil zu einer ähnlichen Erscheinung, wie wir sie bei der Haubenbildung kennen lernten; die inneren Gewebe bleiben zurück, und es kommt zwischen der vierten und fünften Schicht von außen zum Riß. Er ist zuerst an jungen, spindelförmigen Sporogonen (C) wahrnehmbar, erweitert sich schnell und nach unten zu stärker, spaltet etwa ein Viertel der Kapsel in einen inneren, säulenförmigen und einen äußeren hohlzylindrischen Teil, erscheint aber keineswegs als ununterbrochener Hohlraum; es bleiben vielmehr an ganz bestimmten Stellen die auseinander weichenden Zellenkreise durch zarte Fäden im Zusammenhang, und wenn man etwas ältere Formen, etwa der D-Stufe, untersucht, so lassen sich drei bis fünf in regelmäßigen Abständen und senkrechten Reihen übereinander liegende Kreise von je 16 solcher Spannfäden feststellen. Sie bestehen aus einer Reihe Chlorophyll führender Zellen; da sie aber ursprünglich mit zwei oder mehreren Zellen der äußeren Kreise zusammenhängen, so werden sie durch deren stärkeres Wachstum am äußeren Ende gabelig gespalten und in eine schräg abwärts verlaufende Richtung gezogen; an das Wandgewebe fügen sie sich zu 16 zierlich gitterartig durchbrochenen Längsleisten, die gleich Kulissen in den Hohlraum hineinragen (20, e); an seinem Grunde aber vereinigen sie sich zu einem ganzen Bündel, das wie ein Pfeiler den Sporensack stützt.

Bei den auf die Gesamtentwicklung des Sporogons gerichteten Vorgängen fällt jedem dieser Zellverbände des sterilen Teils eine besondere Aufgabe zu. Das den Grund ausfüllende, besonders das über die ganze Oberfläche ausgedehnte Wassergewebe versorgt das Innere mit gelösten Nährstoffen und schützt es wirksam vor dem Austrocknen; die Zellzwischenräume bilden in Verbindung mit Luftraum und Spaltöffnungen ein verzweigtes Netzwerk, das dem Stoffwechsel dient und eine reichliche Durchlüftung bewirkt; dem grünen Gewebe nebst Spannfäden obliegt die Assimilation und die Zuleitung der dadurch vorbereiteten Stoffe zur sporenbildenden Schicht.

Der Sporensack. — Die Anlage dieses den wichtigsten Teil der Moosfrucht, das Archesporium, einschließenden Gebildes beginnt, sobald sich im jungen Sporogon die Scheidung in Endothecium und Amphithecium vollzogen hat. Wir müssen uns also noch einmal die der Bildung des Grundquadrats folgenden Erscheinungen vergegenwärtigen, wie sie in den Figuren b, c, d in Ab-

bildung 18 dargestellt sind. In allen dreien ist es der mittlere, dem Amphithecium angehörende Kranz, dessen acht Zellen zunächst in radialer Richtung einmal geteilt, dann durch perikline Wände in zwei Schichten zerlegt werden. Die äußere (von außen gerechnet fünfte) fällt in Querschnitten (18, h) durch ihre 16 breiten Zellen auf: es sind diejenigen, welche mit der mehrmals erwähnten schnellen Vergrößerung der Wandschichten nicht gleichen Schritt halten, durch Zerreißen des Gewebes die Entstehung des Luftraumes veranlassen und mithin die Außenwand des Sporensackes darstellen; sie behalten auch später ihre Form bei (Bild 19, b, c). Der innere Zellenkreis bleibt einstweilen — noch

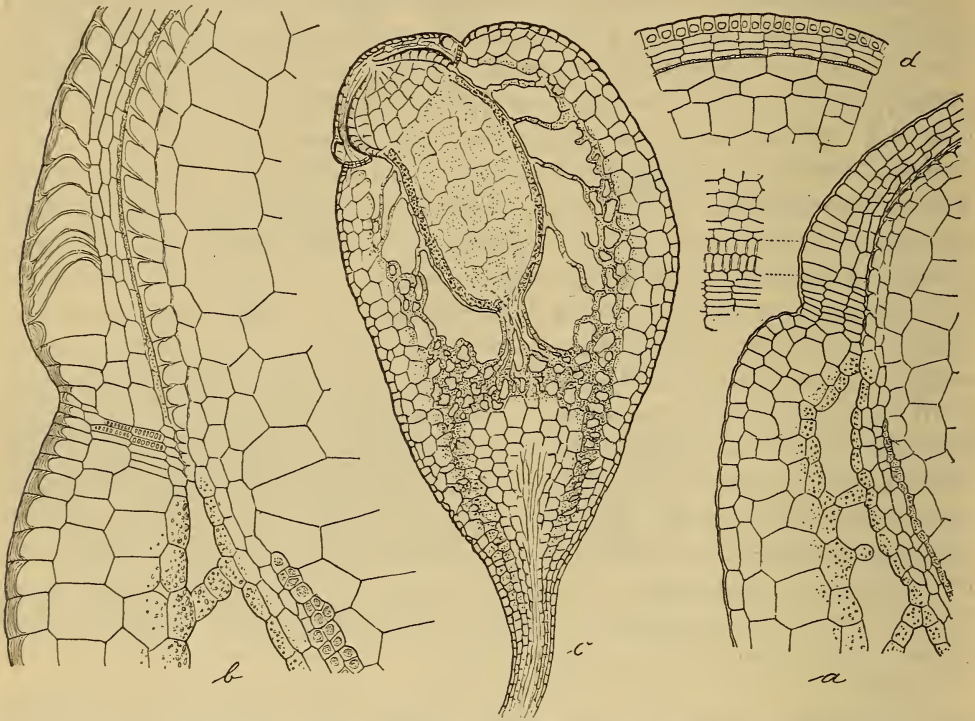


Abb. 22. a Teil eines Längsschnitts durch eine jüngere Kapsel der F-Form. Das Archospor ist abgesondert, das Peristom im Entstehen; daneben die Zellen der Ringzone von der Fläche gesehen 160:1. b der gleiche Schnitt aus der noch grünen G-Form 200:1, c medianer Längsschnitt durch eine fast reife Kapsel 40:1, d Querschnitt durch den Deckel von a mit der Peristomschicht.

in Kapseln der E- und F-Form — einschichtig; erst zur Zeit der Sporenbildung wird er zweischichtig, so daß also der äußere Sporensack schließlich aus drei Zellagen besteht (19, d).

Die tangentielle Teilung der acht angrenzenden Zellen des Endothecium und damit die Sonderung des fertilen Gewebes in Archospor und inneren Sporensack ist deutlich erst an Sporogonen der bauchigen (E-)Form wahrzunehmen. Während die Zellen der inneren Schicht, die man den „inneren Sporensack“ genannt hat, sich wenig von denen des Säulchens unterscheiden (19, c; 22, a), zeichnen sich die des Archospors scharf von ihrer Umgebung

ab; sie sind sehr klein, unregelmäßig geformt und speichern aus Lösungen reichlich Farbstoffe auf; ihr dichter, protoplasmatischer Inhalt deutet an, daß sie sich auf weitere Teilungen vorbereiten. Diese gehen auf der folgenden F-Stufe vor sich, indem, scheinbar ohne bestimmte Regel, in jeder Mutterzelle vier Tochterzellen entstehen (Bilder 19, d; 22, b). Dies sind die jungen Sporen. Anfangs zart, farblos, mit feinen Körnchen im Innern, oft noch zu Vieren beisammen, — so erscheinen sie in Schnittpräparaten, doch lösen sich die Tetraden im Wasser schnell zu kugelrunden Einzelzellen, — werden sie durch Schwinden der Wandungen der Mutterzellen bald frei, umgeben sich mit einer derben, äußeren Haut und liegen endlich lose in dem durch Schrumpfen der Kolumella entstandenen Hohlraum.

Die Reife der Sporen fällt mit der des Sporogons zusammen, ist mithin bei unserem Moose an keine bestimmte Jahreszeit gebunden; da man aber dort, wo die Pflanze in Menge auftritt, die Mehrzahl der Kapseln im Mai und Juni im Zustand der Reife findet, kann man diese Monate auch als Zeit der Sporenreife in Anspruch nehmen.

Das Säulchen. — In der Längsachse des Sporogons, den inneren Sporensack und darüber hinaus die Höhlung des Deckels ausfüllend, liegt das zartwandige, äußerst lockertzellige Gewebe des Säulchens (Bild 22, c). Es entsteht aus der zentralen Gruppe der Kolumellazellen, die weiterhin nur wenige Teilungen erfahren, dafür sich aber dermaßen vergrößern, daß in der ausgewachsenen Kapsel ihr Durchmesser bis zu 0,11 mm beträgt und das Säulchen bis zur Mündung nur 10—12 Stockwerke hoch und 4—6 Zellen breit ist. Sie gleichen nach Form und Inhalt¹⁾ denen des Wassergewebes, haben wie dieses für Zufuhr flüssiger Nährstoffe zu den Sporenmutterzellen zu sorgen, stehen deshalb am Grunde des Sporensacks, wo die sporenbildende Schicht unterbrochen ist, durch die hier zusammenlaufenden Spannfäden mit dem Assimilationsgewebe in Verbindung und schrumpfen oder schwinden, sobald mit der Sporenreife ihre Aufgabe erfüllt ist.

Das Peristom. — Für keinen Teil unseres Moores gilt das Dichterwort, welches der vorliegenden Arbeit die Richtung wies, mehr, als für das Peristom; bei keinem ist die Kenntnis der Entstehung zum Verständnis des scheinbar verwickelten Aufbaues so unentbehrlich, wie hier. Doch sucht man bei den jüngeren Entwicklungsstufen (A—D) vergebens nach einer Andeutung des zierlichen Gebildes, das später, auch in bildlichem Sinne, die Frucht des formenreichen Pflänzchens krönt.

Schattenhafte Streifen zwischen den schräg aufsteigenden Zellreihen im Deckel der bauchigen E-Form sind die ersten Anzeichen der zarten Niederschläge, die sich schon auf der folgenden F-Stufe zu den deutlichen Umrissen und Quergliederungen der werdenden Zähne verdichten, einem Bilde vergleich-

¹⁾ Als solcher wird neben Wasser „reichlich Stärke“ angegeben. Mir ist der Nachweis geformter Stärke im Säulchen der F-Form von *Funaria* durch die Jodreaktion nicht gelungen.

bar, das auf lichtempfindlicher Platte allmählich zum Vorschein kommt. Zellstoff eigener Art lagert sich auf den Wänden der Peristomschichten ab, welche, dicht über dem Luftraum beginnend und der Wölbung des Deckels folgend, als ein schon durch seine Färbung auffallendes, kuppelförmiges Gehege das lockere Gewebe des Säulchens von den kleinzelligen Wandschichten trennen.

Suchen wir diese Bildungen im Entstehen „aufzuhaschen“, so lehrt uns zunächst ein Querschnitt (Bild 22, d), daß es die Wand zwischen der vierten und fünften Schicht (von außen) ist, die von diesen Verdickungen betroffen wird, und daß sich hierbei stets Gruppen von zwei kleinen Außenzellen und einer größeren Innenzelle beteiligen. Aus Längsschnitten ersehen wir (Bild 22, a, b),

wie die Verdickungen auch auf die Querwände der fünften Schicht übergreifen, in deren mittleren Stockwerken sich am kräftigsten entwickeln, nach innen wie nach oben hin sich allmählich verlieren oder verjüngen, wie die Zähne eines Kammes; daß ferner die Wand zwischen dieser und der sechsten Schicht ebenso verändert wird, nur schwächer und gleichmäßiger.

Diese Wahrnehmungen werden genügen, von dem Peristom einer reifen Kapsel und den Einzelheiten seines Gefüges ein klares Bild zu gewinnen.

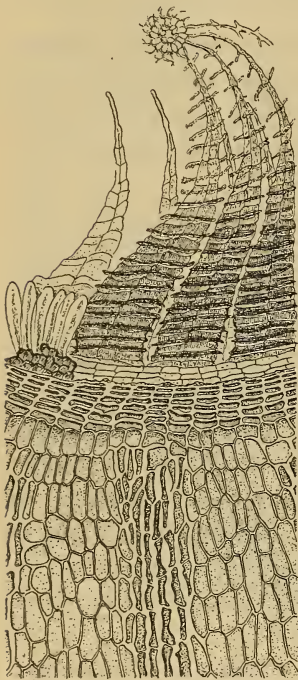


Abb. 23. Flächenansicht der Kapselwand mit Mündung, Ring und Peristom 120 : 1.

Die streifig-papillöse, dunkel-orangefarbige Außenschicht (23) läßt deutlich erkennen, daß sie aus zwei Reihen von Wandstücken aufgebaut ist; die Ansatzstellen der Wände der vierten Zellschicht zeichnen sich als zarte Querstreifen und als zickzackförmige Mittellinie scharf von den Lamellen der Innenschicht ab, die als dunkle Balken durchschimmern und seitwärts über den Rand hervortreten; nach oben hin bilden an ihrer Stelle die Reste der Tangentialwände lange Fortsätze. Diese sind farblos wie die Spitzen der Zähne, welche durch eine Zellplatte für längere Zeit verbunden bleiben. Am Grunde verschmälern sich die des äußeren Peristoms. Die Zähne des

inneren stehen jenen gegenüber, sind erheblich kürzer, hellorange, fein punktiert, unten zu einer hohen Grundhaut verbreitert, doch nicht miteinander verschmolzen; ihre Felderung deutet gleichfalls die Ansätze der früheren Nachbarzellen an.

Nach dem Bau des Mundbesatzes gehört *Funaria* zu der Reihe der Diplolepiden.

An der entdeckelten Kapsel wird die Mündung durch das Peristom vollkommen geschlossen (Bild 24). Die Zähne sind in hohem Maße hygroskopisch — eine Eigenschaft, die man auf die verschiedenartige Beschaffenheit der Verdickungsschichten zurückführt — und haben das Bestreben, sich an trockener

Luft auswärts zu biegen; da sie indessen anfangs an der Spitze zusammenhängen, können die Sporen nur spärlich durch die sich zeitweise öffnenden Schlitzte austreten. Später trennen sich die Zähne und zeigen dann unter der Lupe sehr schön ihre Empfindlichkeit gegen Feuchtigkeitswechsel, indem sie auf jeden Atemzug des Beobachters reagieren. Ferner ist das Peristom sehr widerstandsfähig gegen Witterungs- und andere zerstörende Einflüsse, vielleicht durch Einlagerung fäulniswidriger Stoffe und durch Verkorkung; es wird z. B. durch konzentrierte Schwefelsäure kaum verändert. Aus Bild 22, b geht hervor, daß äußerer Sporensack und Peristom aus den gleichen Zellschichten entstehen; aus diesem Grunde bleiben beide meist verbunden, wenn man ein reifes Sporogon zerlegt. Auch ist hier noch die zweischichtige Gruppe stark verdickter Zellen zu erwähnen, welche gleichsam eine Brücke zwischen Mundbesatz und Epidermis schlägt und beide auch zusammenhält, wenn später alle zarteren Gewebe zerfallen; es sind die auf Bild 23 sichtbaren drei Zellreihen des Mündungsrandes.

In der Ausbildung des Peristoms, dessen Bedeutung für die Verbreitung der Sporen sich schon dadurch bekundet, daß es bei allen Formen mit hängender Kapsel vorhanden ist und nur bei trockenem Wetter ihre Mündung frei gibt, offenbart die Welt der Laubmoose eine außerordentliche Mannigfaltigkeit, so daß es schon den Vätern der Mooskunde für systematische Zwecke dienen mußte. Unter den Funariaceen finden sich Gattungen mit nackter Mündung, mit verkümmertem, mit einfachem und doppeltem Mundbesatz; unsere Art ist hierin also mit am vollkommensten entwickelt.

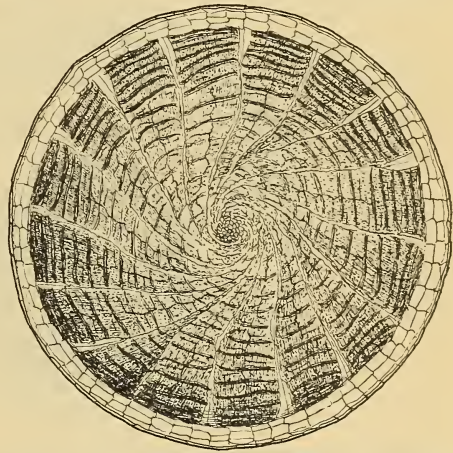


Abb. 24. Peristom der reifen Kapsel von oben gesehen.
90 : 1.

Der Ring. — Im Gegensatz zu den soeben geschilderten, spät eintretenden Vorgängen im Innern des Deckels ist in den äußeren Schichten, die ihn von der Mündung trennen, eine Differenzierung der Gewebe zwar schon an älteren Embryonen (vergl. Bild 15, g), eine scharfe Abgrenzung der Ringzone indessen erst an Sporogonen der D-Form wahrnehmbar. Die Zellen zweier Reihen (Bild 25, a) werden seitlich stark zusammengedrückt, so daß sie nur halb so breit sind, wie die über und unter ihnen liegenden, und bald beginnen die Radialwände sich zu verdicken. Längsschnitte zeigen, daß an der Stelle, die durch eine kräftige Einschnürung den Übergang von der Urne zum Deckel bezeichnet, die tangentialen Teilungen abweichend verlaufen, indem bestimmte Zellreihen sich mehr verflachen und vertiefen, eine Zelle aber alle übrigen an Größe übertrifft (Bild 22, a, b). An noch grünen Sporogonen der G-Form sind diese Verhältnisse am deutlichsten zu beobachten; der Ring ist hier für Schnitte noch zart genug, sonst aber fertig entwickelt und bildet einen 0,1 mm breiten,

aufrechten Reif, der aus zwei bis drei Reihen kleiner, gelbroter, oft bis zum Verschwinden des Lumens verdickter Zellen und einer oberen Reihe sehr großer, hyaliner, vom Deckelrand überwölbter Zellen besteht. Diese großen, palissadenartig aneinander gereihten Zellen haben keilförmig verdickte Wände (Bild 25, e) und sind mit Schleim gefüllt, der beim Reifen der Kapsel eintrocknet, so daß diese geschlossen bleibt, der bei Zutritt von Wasser aber schnell quillt. Dabei schwellen die Ringzellen bedeutend an, richten sich aufwärts, lockern den Deckel und sprengen ihn gänzlich ab, und durch gegenseitigen Druck kommt so die bekannte Spiral- oder Schneckenform des „annulus revolubilis“ zustande (d).

Der Deckel. — Über die äußeren und inneren Wandlungen des sich entwickelnden Deckels wurde in Bildern und gelegentlichen Bemerkungen bereits das Nötige mitgeteilt. Das die reife Kapsel verschließende Organ bildet,

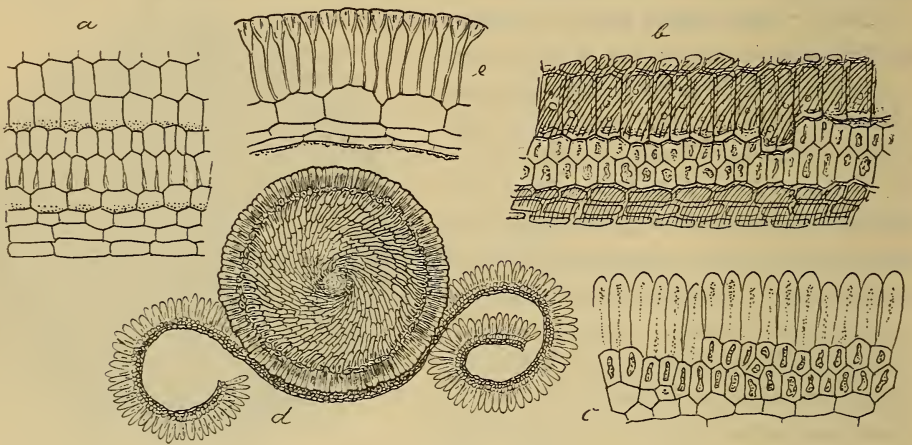


Abb. 25. Ring und Deckel. a Ringzone der D-Form 450:1, b der F-Form 225:1, c dieselbe nach Entfernung des Deckels; d Deckel mit dem annulus revolubilis von G 45:1; e Querschnitt durch die Ringzellen und Peristomschicht von F 225:1.

der kleinen Mündung entsprechend, eine nur 0,7—0,8 mm breite, flach gewölbte, kreisrunde Scheibe mit orangefarbigem Rande, dessen in zwei Schichten schindelartig neben- und übereinander liegende, zackig gesäumte Zellen größere und kleinere Öltröpfchen führen. Das gelbliche Mittelfeld ist aus schmalen Maschen gewebt, die in schrägen Reihen nach rechts ansteigend zuletzt in Bogenlinien zusammenlaufen, sich also genau der Drehung des Peristoms anschließen (Bild 25, d). Scheinbar bilden sie nur eine Schicht; aus Querschnitten geht aber hervor, daß in der Wölbung der stark verdickten, am Rande falzartig über den Ring hinweggreifenden Außenschicht die Reste des dreischichtigen Parenchyms hängen bleiben, von dem sich das Peristom zur Reifezeit bereits losgerissen hat.

Mit dem Abwerfen des Deckels und dem Ausstreuen der Sporen ist die Bestimmung der Mooskapsel erfüllt. Ihre Schönheit ist dahin. Wohl richtet

sie sich meistens wieder auf, doch in ihrer Weitmündigkeit, Mißfarbe und den tiefen Runzeln trägt sie die Zeichen des Alters und nahenden Verfalls zur Schau.

Zahlenverhältnisse des *Funaria*-Sporogons. — Nachdem wir die Entwicklung der Kapsel in allen Einzelheiten bis zur Vollendung verfolgt haben, wird es eine leichte Aufgabe sein, den bei Besprechung der ersten Anfänge aufgestellten Satz: daß sich alles im Rahmen der Vierzahl vollzieht, auf seine Richtigkeit zu prüfen.

Zeichnen wir um einen gemeinsamen Mittelpunkt sieben Kreise, teilen das Ganze in Viertelkreise, halbieren, mit dem zweiten Kreise beginnend, die Quadranten unter Ausschluß des im inneren Kreise liegenden Teils und verfahren, in gleicher Weise die Achtelkreise usw. halbierend, weiter, so erhalten wir schließlich einen aus sieben konzentrischen Ringen gebildeten Abriß, von denen jeder äußere doppelt so viel Teile zeigt wie der nächstinnere, nämlich:

I = 4, II = 8, III = 16, IV = 32, V = 64, VI = 128,

VII = 256. Solch ein schematisches Bild (26) gibt in allen

Teilen getreu die Verhältnisse der

Funaria-Kapsel wieder, wie wir

sie aus den verschiedenen Quer-

schnitten kennen lernten. Die

Kolumella sahen wir aus den vier

Zellen des innersten Kreises, aus

den acht Zellen des II. den

inneren Sporensack hervorgehen;

im äußeren Sporensack zeigte uns

die Außenschicht einen 16 zelligen

Kranz. Im Archespor ist die

Zahl der in jeder Mutterzelle gebildeten Sporen = 4. Vier Stockwerke

von je 16 Spannfäden durchziehen den Luftraum und spalten sich in

32 Arme, und die Annahme, daß das Bündel am Grunde des Sporensacks

sich in 16 Einzelfäden auflösen läßt, wird bei näherer Untersuchung be-

stätigt, während das unter ihm liegende Wassergewebe drei Kreise von 4,

8, 16 Zellen erkennen läßt. In Zahl und Anordnung der Spaltöffnungen ist

scheinbar keine Gesetzmäßigkeit vorhanden; vergewärtigt man sich aber,

daß im oberen Halsteil die Zwischenzellräume schichtweise in 32 Kanälen

gegen die Wand verlaufen, so werden sich auch bei den Spaltöffnungen eben-

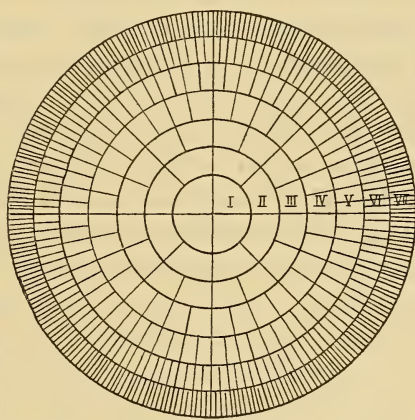
soviel Reihen nachweisen lassen, denn trotz aller Verschiebungen kann man

hier und da bis zu sieben senkrecht übereinander sehen. Die vierschichtige

Urnenwand baut sich die unter der Mündung gelegenen Stockwerke aus je

64 Zellen auf und diese Zahl vergrößert sich nach unten hin mit jeder Reihe,

so daß sie am größten Umfange der Kapsel 250—262 beträgt — bei sechs-



I = 4
II = 8
III = 16
IV = 32
V = 64
VI = 128
VII = 256

Abb. 26. Schematische Zeichnung zur Veranschaulichung der Zahlenverhältnisse an der *Funaria*-Kapsel.

maliger Zweiteilung der ursprünglichen vier Wandzellen müßten es 256 sein, die ineinander verlaufenden Reihen stören die genaue Feststellung. In den drei zwischen Mündungsrand und Peristom sichtbaren Kreisen stehen jedem der 16 Zähne je vier Zellen gegenüber; in doppelter Zahl füllen sie höher hinauf den Raum zwischen Mundbesatz und Deckelwand. 16 Maschen zeigt auch das die Spitzen der Zähne verbindende Scheibchen. Im Deckelrand schwankt die gesetzmäßige Zahl 128 innerhalb engster Grenzen, zwischen 124 und 132, und da jede dieser Zellen zwei große Ringzellen deckt, so berechnet sich deren Zahl auf 256; tatsächlich sind es nur 2—8 mehr oder weniger.

Diese Angaben dürften genügen!

Mit dem Nachweis der Kulturfähigkeit und dem Zeugnis eines gesetzmäßig geregelten Lebensganges verabschiedet sich die *Funaria*. Sie lehrte uns, wenn eine Verallgemeinerung der gewonnenen Ergebnisse zulässig ist, daß das Ziehen eines Laubmooses von der Sporenaussaat bis zur Sporenreife recht wohl gelingt; zwar nicht in den geschlossenen Räumen unserer Wohnungen, wo es unbedeckt ebenso sicher verdorrt, wie unter der Glocke kränkelt, so doch auf künstlichen Nährböden teils im Zimmer, teils im Freien. Mit der Möglichkeit, diese zierlichen Gewächse zu kultivieren, wächst der Antrieb, auch die Kinder des Waldes oder seltenere Formen in den Bereich unserer Versuche zu ziehen. Der Anblick eines selbstgezogenen Fruchtrasens von *Mnium undulatum* würde die darauf verwendete Mühe reichlich belohnen, der eines unserer nordischen Prachtmoose, etwa eines *Splachnum luteum* mit seinen goldig leuchtenden Schirmchen aber Herz und Auge nicht nur des Moosforschers, sondern jedes für die Schönheit der Natur empfänglichen Menschen entzücken. Wer unternimmt ihn, diesen Versuch?

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften der Naturforschenden Gesellschaft Danzig](#)

Jahr/Year: 1909

Band/Volume: [NF_12_3](#)

Autor(en)/Author(s): Janzen P.

Artikel/Article: [Funaria hygrometrica. 1-44](#)