Über fadenförmige Gebilde in den Zellen von Moosblättern und Chloroplastenverlagerung bei Funaria.

Von

Karl Boresch.

LIBRARY
NEW YORK
BOTANICAL
GARDEN.

Mit Tafel I.

Über faden- oder netzförmige Protoplasmadifferenzierungen in den Blättern von Moosen finden sich in der Literatur einige verstreute Angaben. Besonderes Interesse erregten derartige Strukturen, als einige Forscher, ausgehend von der Untersuchung der zu solchen Beobachtungen sehr geeigneten Funariablätter, sie in einen ursächlichen Zusammenhang mit der Chloroplastenbewegung brachten.

In vorliegender Arbeit wird nun eine recht beträchtliche Verbreitung ähnlicher Netz- und Fadenbildungen, die schon während des Lebens ohne jede weitere Präparation und bereits bei mittleren Vergrößerungen sichtbar sind, besonders in den Blattzellen der Moose nachgewiesen; eingehender wurden sie bei Fontinalis antipyretica und Funaria hygrometrica studiert, im besonderen ihr Verhalten gegen verschiedene in die Zelle permeiierende Mittel und ihre auffälligen Veränderungen bei Belichtung. An diese merkwürdigen Erscheinungen, über deren mögliches Zustandekommen einige Vorstellungen entwickelt werden, knüpfen sich Bemerkungen über die Placierung dieser Gebilde in der Zelle, endlich wird die Frage nach ihrer Bedeutung für die Chloroplastenverlagerung einer experimentellen Kritik unterzogen. — Anhangsweise werden dann noch einige Untersuchungen an Vertretern anderer Pflanzengruppen, die zur Orientierung und Vergleichung mit den bei Moosen beschriebenen Strukturen herangezogen wurden, mitgeteilt.

Filarbildungen bei Fontinalis antipyretica.

Besonders in den größeren und älteren Blättern, in den zum Unterschied vom übrigen Blattgewebe stark aufgetriebenen Zellen, welche die beiderseits am Blattgrunde gelegenen Öhrchen[1] bilden, finden sich höchst auffällige Gebilde, die meines Wissens noch nicht beschrieben worden sind. Sie stellen meist ziemlich kompakte Knäuel von kompliziert ineinander geschlungenen, stark lichtbrechenden Fäden dar, die entweder ganz unregelmäßig nach den verschiedensten Richtungen das Knäuel durchziehen, oder durch parallele Aneinanderlagerung erst zu Strähnen zusammenschließen, die dann in einigen einfacheren Windungen das Knäuel bilden. In der Regel liegt mitten in jeder Zelle des Blattöhrchens nur ein einziges solcher Art aus verknäuelten Fäden bestehendes Gebilde, das meist einer Längswand anliegend tief in das Zellumen vorragt (Fig. 1, Taf. I) oder der Quere nach den ganzen Saftraum durchzieht, indem es sich auch an der gegenüberliegenden Längswand anheftet (Fig. 2, Taf. I); manchmal erscheint das Fadenknäuel wie eine Spinne im Netz an langen zur Wand ziehenden Strängen aufgehängt. Selten befinden sich zwei Knäuel in einer Zelle; da sie dann gewöhnlich einander gegenüber gelagert sind, indem ein jedes der Mitte der zueinander parallelen Längswände aufruht, hat man den Eindruck, als ob sie ursprünglich miteinander verbunden gewesen wären (Fig. 1, Taf. I). Häufig spinnen sich aus den dann meist lockerer gefügten Knäueln einzelne Fäden heraus, die sich der Innenseite einer Längswand anlegen und hier ein Stück fortlaufen, wobei sie auch als Verbindungsstränge der länglichen Chloroplasten angesehen werden können (Fig. 3, Taf. I); doch gerade diese Fälle, wo man die Verbindungsstränge der Chloroplasten bis in die Knäuel zurückverfolgen kann, machen einen nicht der Annahme geneigt, daß es sich hier um strangartige Differenzierungen des wandständigen Protoplasmas handle. Die letzterwähnte losere Ausbildung der Knäuel führt durch alle Übergänge (Fig. 4, Taf. I) zu typischen Netzstrukturen, die besonders in den Öhrchenzellen jüngerer Blätter zu beobachten sind und ihre Flächenwände ganz oder zum Teil überspannen.

[1]) Cardot, J., Monographie des Fontinalacées. Mém. Soc. nat. de Cherbourg. 1892. 28.

Nicht selten streichen die Balken dieses Netzes vorzugsweise in der Querrichtung der Zelle (Fig. 5, Taf. I); an geeigneten Stellen kann man sehen, daß sie die Chloroplasten untersetzen und daß letztere sich in die Längsrichtung der Fäden einstellen. In den ältesten Blättern sind diese Inhaltskörper am reichlichsten ausgebildet, die Fadenknäuel der Öhrchenzellen ganz besonders groß und fallen hier durch ihre graubraune Färbung auf; an ihrer Statt finden sich in solchen Blättern auch große schwärzliche Massen, die aus zahlreichen dicht gedrängten Körnchen bestehen und eine den Saftraum quer durchziehende Brücke bilden; in manchen dieser Körnchenhaufen kann man mit verschiedener Deutlichkeit noch ein fädiges Maschenwerk erkennen. Aus all diesen Angaben ist zu ersehen, daß mit fortschreitendem Alter der Blätter die Filarbildungen an Masse immer mehr zunehmen. Aber auch die Zellen ein und desselben Blattes ergeben in dieser Beziehung Unterschiede; die stärkste Ausbildung weisen sie in den Öhrchenzellen auf, die sich deshalb für die Untersuchung am meisten eigneten. In den jüngsten Blättern findet man nur in diesen Zellen die Netz- oder Maschenwerke, in Blättern höheren Alters kann man nur in dieser Blattpartie die Knäuelbildungen am besten beobachten, akropetal zu erfahren sie eine rasche Abnahme; sie erscheinen bei diesem Alter der Blätter z. B. in Zellen aus der Blattmitte nur mehr als einfache Schleifen, Ringe und dgl., die möglicherweise die Anfangsstadien der später so komplizierten Gebilde darstellen (Fig. 6, 7, Taf. I). In den ältesten Blättern führen sie alle Zellen, aber ebenfalls in abnehmender Quantität gegen die Blattspitze zu.

An sehr zahlreichen Präparaten konnte durch Behandlung mit Jodjodkali oder Methylgrünessigsäure fast für alle Zellen festgestellt werden, daß der Kern, ganz wenige Fälle ausgenommen, stets an oder in den Knäueln gelagert ist. In Zellen nahe der Spitze älterer Blätter liegen die Körner, Fäden und Schleifen dem Kern dicht an (Fig. 8, Taf. I). Dies kann keine zufällige Beziehung sein, sie erinnert an die Stellung der Leukoplasten um den Kern, doch sind hier noch weitere Untersuchungen nötig.

Die Fäden, welche all diese Gebilde aufbauen, besitzen eine

ziemlich gleichmäßige Dicke, oder es wechseln Stücke größeren Querschnittes mit dünneren Unterbrechungsstellen ab; sie erscheinen entweder homogen und gleichförmig oder mehr minder dicht mit kleinen stärker lichtbrechenden Körnchen besetzt, die manchmal, wie man bei stärkerer Vergrößerung erkennt, unabhängig von der Richtung der Balken, denen sie aufsitzen, lebhaft oscillieren, letztere sind in zitternder Bewegung begriffen. Offenbar handelt es sich hier um Brownsche Molekularbewegung, eine einseitig gerichtete Strömungsbewegung in der Richtung der Balken, etwa wie die von Mikrosomen in zarten Protoplasmasträngen, ließ sich nie konstatieren. .

Erwähnt seien noch, mehr an die zarten Filarstrukturen der Funariablattzellen erinnernde, sehr dünne, farblose, ganz homogene Fäden, die in manchen Zellen aus dem von dickeren, bräunlich erscheinenden Fäden gebildeten Knäuel heraustreten, meist in der Längsrichtung der Zelle den Saftraum durchsetzen, um an den Schmalseiten der Zelle anzusetzen; sie sind oft ausgebogen, bilden auch zuweilen Schleifen und lassen manchmal eine wallende Bewegung erkennen.

Besonders aber fällt eine Eigenschaft dieser Fadenstrukturen auf, die sich bei Funaria in noch verstärktem Maße vorfindet, die unaufhörliche Veränderlichkeit ihrer Form, Gestalt und deutlichen Sichtbarkeit, die es auch unmöglich macht, eine genaue Abbildung derselben herzustellen.

Über die stoffliche Natur der Strukturen gab bei diesem Moos die mikrochemische Untersuchung halbwegs Auskunft. Mit Osmiumsäure tritt eine tiefschwarze Färbung der Knäuel ein; auf Zusatz von Alkohol oder Aceton bilden sich aus der Knäuelsubstanz ein großer oder mehrere kleine Tropfen, die das in Lösung gehende Chlorophyll intensiv speichern; mit Sudan in alkoholischer Lösung färben sich die entstehenden Tropfen lebhaft rot, mit Jodlösung werden Knäuel und Netze dunkelbraun viel intensiver als das Plasma tingiert. Methylenblau und Neutralrot dringen rasch in die lebenden Fontinaliszellen ein, werden aber nicht von der Substanz der Knäuel und Fäden gespeichert. Die Einwirkung von Ammoniak, Ammoniumkarbonat usw., Koffeïn und anderen Alkaloiden kann im folgenden S. 109ff. eingesehen werden. Behandlung mit Ferrosulfat, mit

Phloroglucin-Salzsäure auch beim Erwärmen, mit Fehlingscher Lösung, mit Phenylhydracin gab keine positiven Befunde. Von den üblichen Reaktionen auf Eiweiß gelang nur die Pettenkofersche Probe mit braunrotem Farbenton, der besonders nach längerem Liegen in verdünnter Salzsäure sehr intensiv wurde und auch bei alleiniger Einwirkung von konzentrierter Schwefelsäure sich einstellte. — Die Knäuel sind fast zur Gänze nach mehr minder langer Zeit in Methyl-, Äthylalkohol, Äther, Aceton, vollständig in Essigsäure löslich. Im Rückstand des Ätherextraktes aus einer größeren Menge von Fontinalis ließ sich reichlich Glycerin durch die Acroleïnprobe nachweisen. — Nach all diesen Befunden wird man wohl mit einiger Wahrscheinlichkeit behaupten können, daß die Substanz der Fadenstrukturen von Fontinalis in der Hauptsache fettartiger Natur ist; der positive Ausfall der Pettenkoferschen Probe besonders nach Behandlung mit verd. HCl scheint auf die Gegenwart ungesättigter Fettsäuren zu deuten, ein Verhalten, wie es auch manchen Lecithinen zukommt. Eine andere Frage ist die, ob nicht auch andere Stoffe, wenngleich in geringerem Grade, am Aufbau dieser Strukturen beteiligt sind. Dies erscheint mir, abgesehen von anderen Gründen, aus folgenden Befunden wahrscheinlich. Selbst nach mehrtägiger Einwirkung von absolutem Alkohol und darauffolgender Behandlung mit Äther oder Aceton waren wenigstens in manchen Zellen sehr geringe, gerinnselartige, manchmal auch schaumige Reste von der aufgelösten Knäuelsubstanz übrig geblieben, die mit Osmiumsäure keine Schwärzung, mit Sudan keine Rotfärbung mehr gaben, mit Jodjodkali sich aber intensiv bräunten; von den Eiweißreaktionen gelang nur Millons Probe mit schwach braunrosa Färbung. Daß es sich bei diesem in den organischen Solventien unlöslichen Rückstande um Eiweißstoffe handelt, ist nicht ausgeschlossen.

Da die Untersuchungen an Fontinalis im Herbst und Winter angestellt wurden, war es möglich, daß diese Fettmassen etwa als Reservestoff nur zu jener Jahreszeit in den Blättern vorhanden sind. Es wurde daher aufgeweichtes Exsikkatenmaterial der von verschiedenen Standorten und zu verschiedenen Jahreszeiten eingebrachten Fontinalis antipyretica auf das Vorhandensein

der in Frage kommenden Inhaltskörper geprüft, und in allen Präparaten erhielt ich besonders in den basalen Zellen tiefe Schwärzung des Zellinnern.

Fadenstrukturen bei Funaria hygrometrica.

Der eingehenden morphologischen Beschreibung der Faden- und Netzstrukturen in den Blattzellen von Funaria durch Senn, Knoll, Linsbauer und Abranovicz[1] vermag ich nur mehr weniges hinzuzufügen. Die zuerst von Klebs[2] bei Funaria aufgefundenen Plasmastränge will Senn nicht ohne weiteres mit den von ihm als Peristromialfortsätze bezeichneten Strukturen identifizieren, wenn auch eine Unterscheidung besonders in älteren Zellen sehr schwierig sei. Die späteren Untersucher erwähnen derartige Differenzen nicht und auch ich fand keine Anhaltspunkte, welche diese Unterscheidung nötig machen würden. Denn alle von mir beobachteten Fäden, Stränge, Netze und dgl. Strukturen, so verschieden auch ihr Aussehen war, zeigten ein völlig gleichartiges Verhalten gegen in die lebende Zelle eindringende Agentien, wie es auf S. 112ff. näher ausgeführt wird. Immerhin wäre es möglich, daß auch bei Funaria ähnliche Längsstränge vorkommen, wie solche für Mnium angegeben worden sind, wofür mir auch die von Klebs gelieferte Beschreibung zu sprechen scheint.

Am geeignetsten zum Studium der bei Funaria vorkommenden Faden- und Netzbildungen sind, wie auch Knoll hervorhebt, die langgestreckten Zellen des Blattgrundes, weil sie meist nicht so dicht wie die höher gelegenen mit Chloroplasten erfüllt sind, und wo nicht ausdrücklich anders erwähnt, beziehen sich die Angaben auf derartige Zellen.

[1]) Senn, G., Die Gestalts- und Lageveränderung der Pflanzenchromatophoren. Leipzig 1908, 295.

Knoll, F., Über netzartige Protoplasmadifferenzierungen und Chloroplastenbewegung. Sitzber. Wien. Akad. I. 1908. **117**, 1227.

Linsbauer, K. u. Abranowicz, E., Untersuchungen über die Chloroplastenbewegungen. Ebenda. 1909. **118**, 137.

Ferner Erwähnung auch bei

Küster, E., Beiträge zur Physiologie und Pathologie der Pflanzenzelle. Zeitschr. f. allg. Physiol. 1904. **4**, 221.

[2]) Klebs, G., Beiträge zur Physiologie der Pflanzenzelle. Tübinger Untersuch. 1888. **2**, 558.

Am häufigsten treten die Filarbildungen in Form eines mehr weniger regelmäßigen Netzwerkes auf, welches zwischen den Chloroplasten an den Flächenwänden sich ausspannt oder mehr den schmalen Fugenwänden an den polaren Enden der langen Zelle anliegt. Seine Maschenweite ist großen Schwankungen unterworfen, manchmal wird sie so gering, daß dadurch die betreffende Partie ein granuliertes Aussehen erhält. In anderen Fällen kann man an Stelle der Netze Anordnungen der Fäden beobachten, die dadurch ausgezeichnet sind, daß benachbarte Fäden längs eines verschieden langen meist gebogenen Stückes einen parallelen Verlauf nehmen, wodurch ein Bild zustande kommt, welches lebhaft an das Aussehen des Hymenophors von Daedalea mit seinen labyrinthartig gewundenen Aushöhlungen erinnert, oder ein schlierenartiges Aussehen aufweist (Fig. 9, Taf. I). Nicht minder häufig erscheinen die Fäden als Verbindungsstränge zwischen zwei oder mehreren Chloroplasten, die durch reichliche Anastomosen zu den eben erwähnten Netzstrukturen hinüberführen. Weiter kommen kurze Stränge, die mit einem Ende an einem Chloroplasten haften, mit dem anderen frei endigen, endlich von den Chloroplasten völlig separierte Fadenstücke verschiedenster Form vor. In jungen Zellen fand ich die Beobachtung Senns bestätigt, daß die Stränge oft mit verbreitertem Ende an die Chloroplasten herantreten, das freie Ende schien sich manchmal in eine fächerartige Fläche zu verbreitern. In den basalen Zellen junger Blätter finden sich manchmal Längsfäden in so reichlicher Ausbildung, daß die Zellen dadurch eine längsstreifige Struktur bekommen.

Die bisher erwähnten Fadenbildungen scheinen im wandständigen, sehr dünnen Protoplasmaschlauch zu liegen, und fast überall, wo ich darnach suchte, konnte ich mich von der Richtigkeit der Angaben Knolls überzeugen, daß die Filarstrukturen unterhalb der an der Außenfläche der Zelle befindlichen Chloroplasten dahinziehen, daß sie also in bezug auf diese rückenständig sind. Die Fäden setzen, wie Linsbauer angibt, nicht nur den Chloroplasten, sondern auch dem Zellkern an, was an der Außenwand liegende Kerne mit großer Deutlichkeit zeigen.

Außer diesen wandständigen Fäden finden sich aber auch

solche, welche den Zellsaftraum in verschiedener Richtung durchziehen; unter diesen fällt besonders ein von Linsbauer und Abranowicz beschriebener dickerer Querstrang auf, der in den langgestreckten Zellen der Blattbasis meist in der Einzahl anzutreffen ist und von einer kegelförmigen den Kern enthaltenden Vorstülpung des Plasmas in der Mitte der Längsfugenwand ausgeht und den Zellsaftraum durchsetzend sich mitten an der gegenüberliegenden Wand anheftet; gelegentlich liegt er mit einem Teile der Flächenwand an, an der er dann ein Stück fortläuft.

Alle diese Strukturen stellen durchaus nicht Gebilde von stabilisierter Form und fixer Lagerung in der Zelle dar, sondern ändern sie, wenn man von den eben erwähnten dickeren Querströngen absieht, unaufhörlich in überraschender Weise, so zwar, daß alle aufgezählten Formen derselben ineinander übergehen können; auf diese steten Veränderungen weisen alle genannten Forscher hin mit einer teilweisen Einschränkung bei Senn, welcher für die von Klebs beschriebenen Stränge völlige Bewegungslosigkeit, aber auch für die »Peristromialpseudopodien« in älteren Zellen eine Abnahme ihrer Bewegungsfähigkeit angibt. Die Stränge gehen unaufhörlich in Anastomosen miteinander ein, die sich wieder lösen können, um neuerdings zu verschmelzen, oft verschwinden sie plötzlich und tauchen wieder auf, sie ändern ihre Länge, Richtung, Lage und Sichtbarkeit ohne Unterlaß.

Die Stränge erscheinen meistens homogen gleichförmig, seltener lassen sie verstreute Granula erkennen. Eine ausgesprochene Protoplasmaströmung, wie sie in sehr zarten protoplasmatischen Strängen vieler Pflanzen, z. B. den kinoplasmatischen Fäden, sehr schön zu sehen ist, konnte ich trotz eifrigen Suchens in ihnen niemals wahrnehmen. Vielleicht erklärt sich die von Linsbauer und Abranowicz gemachte Angabe einer Plasmabewegung in den Strängen durch die eben geschilderte sehr rege Bewegung und Veränderung der Fäden, an der auch an oder in ihnen befindliche Granulationen teilnehmen müssen.

Die Fadengebilde von Funaria werden als protoplasmatische Differenzierungen angesehen, ein Punkt, der noch später kurz erwähnt werden soll. Die mikrochemischen Methoden versagten

durchweg; abgesehen von einem ausgesprochenen Jodspeicherungsvermögen (Senn, l. c.) erhielt ich sonst lauter negative oder unsichere Ergebnisse, viele der angewandten Reagentien bewirkten ein Körnigwerden der Stränge, so z. B. absoluter Alkohol; viele der Stränge blieben bei Behandlung mit Alkohol oder Aceton erhalten, was wohl auf keinen so hohen Fettgehalt wie bei Fontinalis schließen läßt. Auch verschiedene Färbungsversuche mit den üblichen zur Tinktion von Fettmassen in der Zelle verwendeten Farbstoffen, wie auch Vitalfärbungen, lieferten keine oder nur sehr unsichere Resultate.

Betont sei noch die oft außerordentliche Ähnlichkeit der Netze und Fadenbildungen von Funaria und der bei Fontinalis beobachteten Retikula, sowohl hinsichtlich der Lage, Gestalt und ihres Anschlusses an die Chloroplasten, ihrer gegen die Blattspitze zu abnehmenden Ausbildung, als auch im Hinblick auf die große Veränderlichkeit, worüber noch später, besonders über die Beziehung der Netze zu der Chloroplastenbewegung, abgehandelt werden soll. Bei Fontinalis finden sich in basalen Zellen, dem Zellkern anliegende Fadenknäuel, bei Funaria die oben genannten dickeren Querstränge. Ja Klebs (l. c.) erwähnt, daß die Plasmastränge bei Funaria manchmal ein verwickeltes Knäuel bilden können. Leider konnte ich an meinem Material derartige Vorkommnisse nicht feststellen.

Fadenstrukturen bei anderen Bryophyten[1].

Riccia fluitans. In den Zellen des thallusartigen Laubes findet man ähnliche fädige Bildungen wie bei Funaria, in Form von Netzen, Verbindungsfäden zwischen den Chloroplasten, von dickeren vom Kern ausgehenden, den Zellsaft durchsetzenden Strängen.

Marchantia polymorpha. Untersucht wurden ganz junge, noch sehr dünne Thallusstücke. Nach längerem Suchen fand ich in einzelnen Zellen Verbindungsstränge zwischen den Chloroplasten. Auch vom Kern gehen öfters ähnliche Filargebilde ab. Offenbar sind das dieselben Strukturen, welche Senn (l. c.) bei Marchantia als „Peristromialpseudopodien" angibt.

Pellia calycina besitzt fast in allen Zellen deutliche Fadenbildungen, die sich meist als Verbindungsstränge zwischen den Chloroplasten repräsentieren.

Lophozia barbata. Besonders in den basalen Blattzellen ge-

[1]) Für die gütige Bestimmung einiger Moose sage ich den Herren W. Mönkemeyer und V. Schiffner herzlichsten Dank.

langen ebenfalls derartige Chloroplastenverbindungen zur Beobachtung, aber auch zu Schleifen gebogene Fäden.

Lophocolea bidentata. Zum Teil körnige, den Zellsaftraum durchziehende Stränge, die sich manchmal auch der Flächenwand anlegen.

Blyttia Lyttii. In vereinzelten Zellen gewahrt man teils als Verbindungen zwischen den Chloroplasten, teils als undeutlich sichtbare Netze anzusprechende Strukturen.

Tortula subulata. In den langgestreckten chlorophyllarmen bis -freien Zellen des Blattgrundes verlaufen meist in der Längsrichtung der Zelle ziemlich robuste, auch miteinander anastomosierende Stränge; sie zeigen selbst bei längerer Beobachtung fast keine Änderung ihrer Form. Derartige Stränge kommen auch in den Rhizoidzellen vor. Sonst erinnert das Bild sehr an die für Funaria beschriebenen Verhältnisse.

Mnium rostratum (?). Schwarz[1] beschrieb für Mnium undulatum eigentümliche strangartige Differenzierungen des Plasmas. Auch in der von mir untersuchten Art, besonders in den basalwärts gelegenen Blattzellen, sind Fadengebilde zum Teil an der Flächenwand, zum Teil tiefer im Saftraum liegend, anzutreffen. Auch hier finden sich solche, welche Chloroplasten zu verbinden scheinen, manchmal jedoch selten, wenigstens andeutungsweise zu netzigen Bildungen zusammentreten.

Andere im Winter zur Untersuchung herangezogene Mniumarten, deren Zellen wahrscheinlich gerade in dieser Jahreszeit, nach der bräunlichen Trübung des Protoplasmas und dem reichlichen Auftreten von chlorophyllspeichernden Tröpfchen bei Behandlung mit Aceton zu schließen, viel Fett enthalten, bieten wohl ähnliche Verhältnisse. Die Gegenwart von hauptsächlich in der Längsrichtung der Zelle streichenden Fäden verrät sich eigentlich erst durch zahlreiche kleine, reihenförmig angeordnete, stark lichtbrechende Tröpfchen, die ihnen offenbar aufsitzen. Dadurch erscheint die bei etwas tieferer Einstellung unterhalb der Flächenwand erkennbare längsstreifige Struktur verständlich.

Catharinaea undulata. Besonders in den basalen chlorophyllärmeren Zellen der Blätter oft zahlreiche Stränge und Fäden, welche die Chloroplasten untereinander verbinden, oder vom Kern ausgehen, miteinander häufig anastomosieren und auch an den Flächenwänden deutlich unter den Chloroplasten gelegene Netze bilden können.

Hookeria lucens (L.) Sm. stellt ein sehr geeignetes Objekt zur Untersuchung der fraglichen Filarstrukturen dar (Fig. 10, Taf. I). Zarte homogene Stränge ziehen gerade oder im Bogen, oft mannigfach gewunden vom Kern zu den Chloroplasten und unter diesen weiter, bilden vorzüglich in den Basalzellen deutlich unter den Chloroplasten liegende Maschen, Netze oder an Daedalea erinnernde Strukturen, oder sie durchziehen nach verschiedenen Richtungen manchmal unter Bevorzugung der Längsrichtung den Zellsaft-

[1]) Schwarz, Fr., Die morph. u. chem. Zusammensetzung des Protopl. Cohns Beitr. 1892. **5** 134.

raum, gerade oder bogig verlaufend, um sich auch oft an dem dünnen Plasmaschlauch anzuheften, in vielen Zellen ist ein in der Regel in der Einzahl auftretender dickerer Querstrang ausgespannt; diese ganzen Fadengebilde befinden sich in unaufhörlicher Bewegung und Formveränderung — kurz, sie bieten eine weitgehende Ähnlichkeit zu jenen bei Funaria geschilderten Verhältnissen. Ein instruktives Bild gewährten Zellen, deren Chloroplasten sich in Systrophe befanden; von den um den Zellkern gescharten Chlorophyllkörnern strahlen nach allen Seiten sehr zarte Fäden zum wandständigen Plasma aus, welches seiner geringeren Dicke wegen nicht sichtbar war; doch ließ sich ihr Ansatz an diesem an plasmolysierten Zellen unschwer feststellen.

Cyathophorum pennatum. In sämtlichen Zellen des Blattes verlaufen sehr feine Längsfäden; sie werden eigentlich erst durch ihnen aufsitzende kleine, stark lichtbrechende Körnchen, die sich in Brownscher Molekularbewegung von geringer Amplitude befinden, sichtbar und erlangen durch diese ein perlschnurartiges Aussehen. Oft sind sie in solcher Masse vorhanden, daß die Zelle in der Durchsicht grau erscheint. Besonders in den Basalzellen des Blattes treten diese Fadenstrukturen so reichlich auf, daß sie an die Knäuelbildungen bei Fontinalis erinnern. Für eine fettartige Natur der genannten Körnchen oder Tröpfchen spricht ihr Verhalten bei Behandlung mit Alkohol oder Aceton; dabei fließen sie nämlich zu größeren Tropfen zusammen, die sich von dem in Lösung gehenden Chlorophyll grün färben, während die zarten Längsfäden selbst bei mehrstündiger Einwirkung dieser Solventien erhalten bleiben.

Hypnum cuspidatum. Der Blattgrund besteht im Gegensatz zu den übrigen, schmalen, dicht mit Chlorophyllkörnern erfüllten Zellen aus breiten aufgetriebenen Zellen, die nur wenig Chloroplasten enthalten. Zwischen letzteren ist ein sehr verschieden geformtes Netzwerk, dessen Fäden meist körnig erscheinen, ausgespannt; einzelne Maschen dieses Retikulums sind oft noch von einem feineren Netzwerk erfüllt; es ändert unaufhörlich seine Gestalt, und zeigt überhaupt große Verwandtschaft mit den Funariastrukturen.

Aus den hier mitgeteilten Angaben ergibt sich eine große Verbreitung der in Frage stehenden Fadenstrukturen, sowohl unter den Leber- wie auch unter den Laubmoosen, und bei systematischem Durchsuchen der Bryophyten ließen sich zweifellos noch viele andere Fälle hinzufügen. Die meisten der hier mitgeteilten Fadenbildungen weisen schon hinsichtlich ihrer Morphologie weitgehende Ähnlichkeiten auf, die auch in dem nun folgenden Kapitel zum Ausdruck gelangen.

Verhalten der Fadenstrukturen beim Eintritt verschiedener Stoffe in die lebende Zelle.

Die im vorangehenden beschriebenen Fadengebilde sämtlicher angeführter Moose erfahren beim Eintritt bestimmter

Agentien in die lebende Zelle merkwürdige Veränderungen, die an Fontinalis und Funaria besonders eingehend untersucht wurden. Sie können in Kürze dahin zusammengefaßt werden, daß all die geschilderten Filarstrukturen mannigfachster Gestalt unter der Einwirkung gewisser mehr weniger rasch in die Zelle diosmierender Mittel in Tröpfchen oder Körnchen zerfallen und bei Entfernung dieser Stoffe sich wieder bilden, ohne daß das Leben der Zelle — eine nicht allzu lange Einwirkung vorausgesetzt — irgendwie geschädigt worden wäre. Diese auffälligen Vorgänge spielen sich also intra vitam ab und sind reversibel.

Da zu diesen Beobachtungen eine unausgesetzte mikroskopische Kontrolle nötig war, wurden diese Versuche derart vorgenommen, daß dem von einem längere Zeit in destilliertem Wasser gelegenen Moosstämmchen abgetrennten, im Wasser präparierten und ins Mikroskop eingestellten Moosblatt die Lösung des zu prüfenden Stoffes in bestimmter Konzentration zugesetzt wurde und vermittels eines angelegten Filterpapierstreifens für eine rasche Verdrängung des Wassers und konstante Durchspülung der Lösung Sorge getragen wurde. In gleicher Weise wurde dann durch rasches und andauerndes Durchströmen von reinem Wasser der wirksame Stoff aus der Zelle entfernt. Für die Beobachtung dieser Veränderungen fand ich meist schon mit einer mittleren Vergrößerung (ca. 500 ×) mein Auslangen.

Schon aus äußeren Gründen konnte nicht jeder Stoff in allen Konzentrationen und auf alle Details seiner Wirksamkeit hin untersucht werden. Trotz der großen Gleichartigkeit der erzielten Erfolge durch die verschiedenen Stoffe sollen ihre Wirkungen im einzelnen und bei den untersuchten Moosen getrennt vorgebracht werden, da es immerhin möglich ist, daß gewisse Besonderheiten nur einem bestimmten Stoffe und nur bei einem bestimmten Moos auftreten. Die im folgenden mitgeteilten Zeitangaben erheben keinen Anspruch auf strenge Gültigkeit — dies schließt ja schon die angewandte Methodik aus —, dennoch sind sie für die Beurteilung des Grades der Wirksamkeit eines Agens genügend brauchbar. Zunächst folgen die genauer in dieser Hinsicht studierten Erscheinungen an Fontinalis und Funaria, daran schließen sich die Beobachtungen an den übrigen Moosen.

Fontinalis antipyretica.

Chininbase (bei Zimmertemp. gesättigte (0,00185 Mol.) oder noch besser eine verdünntere Lösung). Die Fadenknäuel in den aufgetriebenen Zellen des Blattgrundes zerfallen fast momentan in eine Unzahl verschieden großer, in lebhafter Brownscher Molekularbewegung tanzender Tröpfchen; durch diese Bewegung erfolgt eine Auflockerung der Körnchenmasse, in der dann große dickwandige Ringe oder vakuolenartige Gebilde, auch große Tropfen als nicht dispergierte Reste der Fadenknäuel sichtbar werden. — Die in denselben Zellen, aber meist jüngerer Blätter oft die ganze Flächenwand bespannenden Netze werden sofort bei Zusatz der Chininlösung durch Bersten der ursprünglichen kleineren Maschen großmaschig, gleichzeitig tritt schon der Zerfall der Balken dieses Netzes in eine Unzahl feiner in Molekularbewegung schwingender Tröpfchen ein, der nach ca. 5 Min. ein vollständiger ist. Sodann wurde ein konstanter starker Wasserstrom durchgeleitet. Die allmähliche Entfernung der Chininlösung äußert sich zunächst in einem Nachlassen der Brownschen Molekularbewegung durch Verkleinerung der Amplituden; die vordem regellos durcheinander wimmelnden Körnchen scheinen sich in ihrer Bewegung zu beeinflussen, oft so, als ob eine Art unsichtbarer Fadenverbindung zwischen ihnen hergestellt worden wäre. Ungefähr nach ½stündigem Auswaschen sieht man zunächst nur an ihren schattenhaften Umrissen erkennbar fadenförmige Gebilde auftreten, die Anfänge der sich wiederbildenden Filarstrukturen. Häufig kann man noch in der wimmelnden Tröpfchenmasse das Auftauchen von verschieden großen, in zitternd-tanzender Bewegung begriffener Ringe manchmal in großer Zahl beobachten, auch hufeisenartige Gebilde und Schleifen in wallender Bewegung, die, wie sich manchmal feststellen läßt, durch Anheftung eines Ringes an die Vakuolenhaut entstehen. Nach einer Stunde des Durchwaschens werden der Tröpfchen immer weniger, dafür haben sich die Fadenstrukturen wiederum in großer Zahl rückgebildet, stellenweise auch schon zu Netzen zusammenschließend; doch befinden sie sich noch sämtlich in wallender Bewegung und erst nach längerer Zeit kommen sie zur Ruhe und bilden Netze von demselben Aussehen, wie vordem in den intakten Zellen; selbstverständlich ist die Form des regenerierten Netzes eine andere. — Ein völlig gleiches Verhalten nehmen auch die meisten als Chloroplastenverbindungen imponierenden Stränge ein (Fig. 12, a, b, c, Taf. I); sie zerfallen bei Chininbehandlung momentan in lebhaft tanzende Körnchen, die beim Auswaschen wieder zu Ringen und Schleifen zusammentreten. Bei genauem Zusehen konnte beobachtet werden, wie Tröpfchen an die entstandenen homogen aussehenden, rückgebildeten Fäden ansetzen, um alsbald zu verschwinden; offenbar sind sie mit ihnen verschmolzen. Die noch in wallender Bewegung begriffenen Fäden legen sich zum Teil auch den Chloroplasten wieder an und kommen zur Ruhe. — Auch die ganz zarten langen, aus den Knäueln hervorkommenden Fäden zerfallen in gleicher Weise in feine Tröpfchen in lebhaftester Bewegung, die wenigstens im Anfang noch die ursprüngliche Richtung des Fadens erkennen lassen.

Chininhydrochlorid wirkt genau so wie die Base. 0,05 und 0,01

Mol bewirken momentanen Zerfall in lebhaft tanzende Körnchen, die nach kurzer Zeit zur Ruhe kommen, sowie der Protoplast abstirbt. Bei 0,001 Mol sind dagegen diese nach ca. 4 Min. eingetretenen Vorgänge völlig reversibel. 0,0001 Mol. ist nur mehr sehr wenig wirksam. Mit

Chininbisulfat war keiner der für das Chinin charakteristischen Erfolge zu erzielen.

Cinchonamin. Trotz der sehr geringen Löslichkeit nach ca. 5 Min. Zerfall in Tröpfchen.

Strychninnitrat 0,01 Mol. Momentane Auflösung der Knäuel, Netze und Verbindungsfäden des Chloroplasten in Tröpfchen wie durch Chininbehandlung. Beim Auswaschen bilden manchmal die den Knäueln entstammenden Körnchen ein zierliches Netzwerk, was ich auch manchmal bei Entfernung der Chininlösung beobachten konnte.

Brucinnitrat 0,01 Mol. Dieselbe Wirkung wie Strychninnitrat.

Cocaïnhydrochlorid 0,01 Mol. Sofortiger Zerfall in Tröpfchen. Noch während der Einwirkung der Cocaïnlösung bildeten sich wiederum Fäden und unregelmäßiges Schaumwerk, das beim Auswaschen durch 10 Min. unverändert blieb; erneuter Zusatz der Lösung hatte nur geringe Bewegungen der in diesem Schaumwerk befindlichen Körnchen zur Folge, ohne jedoch zu einer vollständigen Auflösung in Tröpfchen zu führen. Eine solche konnte aber nach mehrstündigem Wässern wieder erzielt werden.

Morphin (nur sehr wenig wasserlöslich). Kein tropfiger Zerfall der Knäuel.

Codeïnhydrochlorid 0,01 Mol. Nach 2—5 Min. in einzelnen Zellen allmähliche Auflösung der Knäuel in Tröpfchen. Wirkt ähnlich, aber viel weniger energisch wie Chinin.

Koffeïnbase 0,02 Mol. Ohne Wirkung.

Natriumhydroxyd 0,027 Mol. Nach 5 Min. wiesen die Fadenstrukturen, abgesehen davon, daß sie deutlicher wurden, keine weiteren Veränderungen auf. — 0,0138 Mol. Auch nach 1 Stunde keine Veränderung. — 0,0014 Mol. auch nach 24 Stunden wirkungslos.

Ammoniak 0,12 norm. Nach wenigen Minuten Bewegung in den sich auflockernden Knäueln, Fäden geraten in wallende Bewegung und erhalten ein körniges Aussehen. Dasselbe Bild, abgesehen von wenigen in Molekularbewegung schwingenden Tröpfchen bot sich nach 1 Stunde Einwirkung. Schließlich starben die Zellen ab, wobei die Bewegung sistierte. — 0,024 n. und 0,012 n. Formveränderung der Knäuel, Netze werden deutlicher, die Netzbalken körnig. Bewegung der Fäden nur in vereinzelten Zellen. Auftreten von Ringen. — 0,0012 n. selbst nach ½stündigem Durchleiten wirkungslos. — Darnach steht das NH_3 dem Chinin an Wirksamkeit bedeutend nach.

Äthylamin 0,174 Mol. Sofortiger Zerfall der Knäuel in tanzende Körner, die beim Auswaschen wieder zur Ruhe kommen. Das Netz zerfiel nicht restlos in Tröpfchen, sondern einzelne Teile der Balken blieben bestehen und gerieten auch nicht in Bewegung. Zelle starb schließlich ab. — 0,0174 Mol. Die mit stark lichtbrechenden Körnchen besetzten Netze traten fast sofort

in Bewegung und zerfielen in zahlreiche Tröpfchen, unter denen man auch die vordem sichtbaren, etwas größeren Körnchen noch verfolgen konnte. Beim Auswaschen Wiederbildung des Retikulums. Auch diese Konzentration schädigt noch die Zelle. — 0,00174 und 0,00017 Mol rufen die gleichen Veränderungen hervor, aber erst nach längerer Zeit.

Ammoniumcarbonat 0,87 Mol. Zerfall der Knäuel in Tröpfchen, Zellen sterben bald ab. — 0,1 Mol. Knäuel, Netze und Verbindungsstränge der Chloroplasten geraten in Bewegung und lösen sich schließlich in tanzende Tröpfchen auf. Bei nicht allzu langer Einwirkung sind diese Vorgänge reversibel.

Ammoniumchlorid 0,1 Mol. Nur Formveränderung der Knäuel.

Ammoniumoxalat 0,1 Mol. Einige Fäden traten in wallende Bewegung, bildeten sich auch zu Schleifen um, tanzende Körnchen wurden nicht sichtbar.

p-Phenylendiamin 0,05 und 0,01 Mol. In einigen Fällen begann nach 5 Min. der Zerfall der Knäuel und einzelner Stränge in Tröpfchen, der nach 10 Min. vollendet war, beim Auswaschen wieder zurückging. In anderen Fällen übten die Lösungen keine Wirkung aus.

m-Phenylendiamin 0,01 Mol. In dem einzigen untersuchten Blatte ließ sich auch nach ½stündiger Einwirkung, wie auch nach 24 Stunden keine Veränderung konstatieren.

124-Toluylendiamin 0,1 Mol. Auch hier erzielte ich ähnlich wie beim p-Phenylendiamin ungleichmäßige Resultate, meist beschränkte sich die Wirkung bei den Knäueln auf die Annahme einer deutlichen Netzstruktur, sehr selten erst nach mehrstündiger Einwirkung sah ich Fäden oder gar Tröpfchen in Bewegung.

134-Toluylendiamin 0,01 Mol. In einem Falle beobachtete ich nach längerer Einwirkungszeit ein Netzigwerden der Knäuel, Auftreten tanzender Ringe, die ihre Gestalt immerfort änderten und ein körniges Aussehen erlangten, nur spärliche Tröpfchen, in einem anderen Falle waren die Knäuel nach 20 Min. in lebhaft tanzende Tröpfchen aufgelöst.

Phenylhydrazin, Diphenylamin, Naphtylamin (alle in bei Zimmertemperatur gesättigten Lösungen) gaben keine Reaktion. Desgleichen

Pyridin und Chinolin, wie auch

Benzamid und Salicylamid in gesättigten Lösungen ohne Wirkung.

Buttersäure 0,0096 n. und 0,00096 n. Nach 5 Min. wurden die Knäuelfäden in manchen Zellen körnig, Körner aber in Ruhe. Die erste Konzentration schädigt, dem Aussehen der Chloroplasten nach zu schließen, schon nach 10 Min.

Capronsäure 0,0076 n. Nach 10 Min. keine Veränderung, dann Schädigung der Zellen. Manche Knäuel flossen dabei zu einer größeren Zahl von Tröpfchen zusammen.

Valeriansäure 0,0093 n. Knäuel schmolzen zu einer größeren Zahl von in Ruhe bleibenden Tropfen zusammen, die Zellen starben bald darauf ab.

Kaliumvalerianat (0,093 norm., Titer der verwendeten Valeriansäure[1]). Nach 15 Min. keine Veränderung.

Aceton bewirkte in 5, 10, 15proz. Lösung rasche Umformung der Knäuel in Schaumwerke, die sich nicht weiter veränderten. Konzentrationen von 20 % aufwärts lösen bereits die Fadensubstanz partiell auf, wodurch das Knäuel in Fadenstücke zerfällt, die aber in Ruhe bleiben.

Alkohol wirkt ähnlich.

Äthylurethan 0,1 Mol. und Harnstoff 0,1 Mol., beide ohne Wirkung.

Saponin 1 %. Nach ca. 5 Min. in einzelnen Zellen Auflösung der Knäuel in tanzende Tröpfchen, während in der weitaus überwiegenden Mehrzahl der Zellen dieselben auch nach 24 Stunden Einwirkung intakt blieben.

Funaria hygrometrica.

Chininbase (bei Zimmertemperatur gesättigte Lösung, 0,00185 Mol). Die Netze und Verbindungsfäden der Chloroplasten geraten fast gleich nach Zusatz in wallende Bewegung, nebenher oft ein körniges Aussehen erhaltend; sie bilden sich zu Schleifen oder Ringen um oder zerfallen zum Teil in kurze, spirillenartig sich schlängelnde Fadenstücke, zum Teil in feine Tröpfchen in sehr lebhafter Brownscher Molekularbewegung. Schließlich verschwinden die Fäden und es sind nur mehr derartige Tröpfchen zu sehen. Der ganze Vorgang hatte sich in wenigen Minuten vollzogen. Schon während der Chininwirkung traten manchmal wieder Fadenbildungen auf. Auswaschen durch längere Zeit (30—45 Min.) ermöglichte wieder vollständige Rückbildung der Strukturen in anderer Form nach Durchlaufen all der Zwischenstufen, die dem tropfigen Zerfall vorangingen, in umgekehrter Reihenfolge.

Chininhydrochlorid 0,01 Mol. Momentanes Eintreten mancher Fäden in wallende Bewegung. Nach 5 Min. bereits Schädigung der Zellen. — 0,005 erzeugt dieselben Veränderungen und schädigt ebenfalls. — 0,001 wirkt nicht mehr so giftig, noch nach 10 Min. sind Ringe und körnig gewordene Verbindungsstränge sichtbar. — Dieses Chininsalz scheint etwas weniger energisch als die reine Base einzuwirken.

Chininbisulfat 1 %. Abgesehen von einer nach längerer Einwirkung sich einstellenden Schädigung der Zellen fanden die für Chinin charakteristischen Veränderungen nicht statt. Die Strukturen wurden nur undeutlich und verschwanden zum Teil.

Cinchonamin (gesättigte Lösung) hatte selbst nach ½stündiger Einwirkung nur geringfügige Bewegung der Fäden zur Folge, Netzstrukturen wurden undeutlich.

[1]) Die fettsauren Kaliumsalze (siehe auch S. 115) wurden durch Absättigung der entsprechenden Fettsäuren in der 10fachen Konzentration, als diese zur Verwendung gelangten, mit KOH bis zur bleibenden Rotfärbung mit Phenolphtaleïn hergestellt. Diese Lösungen enthalten somit weniger Alkali als die hydrolytisch dissoziierten Salze derselben Konzentration.

Strychninnitrat 0,01 Mol. Die Querstränge gerieten nach 10 Min. in wallende Bewegung, nach 25 Min. zerfielen sie in tanzende Tröpfchen. In anderen Zellen waren die Fadenstrukturen noch nach 30 Min. erhalten.

Brucinnitrat 0,01 Mol. Querstränge nach 1 Min. in wallender Bewegung. Nach 5 Min in manchen Zellen Ringe in vibrierender Bewegung, in anderen nur ein Undeutlichwerden der Stränge nach 30 Min.

Cocaïnhydrochlorid 0,01 Mol. Nach ca. 5 Min. Querstränge in zitternder und sodann wallender Bewegung; sie biegen häufig zu Schleifen aus. Nach 18 Min. in den meisten Zellen wallende Schleifen und vibrierende Ringe an Stelle der früheren Netzwerke und Stränge. Nach 30 Min. keine weiteren Veränderungen.

Morphin (kalt gesättigt). Nach 3 Min. Querstränge in Bewegung. Später werden die Netzstrukturen undeutlich, ohne daß sich das Bild nach 30 Min. wesentlich änderte.

Codeïnhydrochlorid 0,01 Mol. Nach 2 Min. Querstränge in wallender Bewegung; diese bildeten sich in einzelnen Zellen nach weiteren 5 Min. zu schwingenden Schleifen und tanzenden Ringen restlos um, während sie sich in anderen Zellen nicht weiter veränderten, höchstens undeutlich wurden. Auch nach 30 Min. schritten die Veränderungen nicht bis zum tropfigen Zerfall vor, eher hatten sie einen Rückgang aufzuweisen.

Koffeïn 0,02 Mol. Alsbald nach Zusatz Querstränge in wallender Bewegung, nach 10 Min. einzelne tanzende Ringe, nach 18 Min. in einigen Zellen Fadenstücke und Körnchen in Brownscher Bewegung. Nach 20 Min. beobachtete ich in einer Zelle zwei Chloroplasten in zitternder Bewegung. Nach 45 Min. zahlreiche lebhaft tanzende Ringe, Fadenstücke und Tröpfchen.

Kaliumhydroxyd 0,0072, 0,0143, 0,0286 norm. Netze wurden nach verschieden langer Zeit engmaschiger, oft so, daß sie dann den Eindruck eines körneligen Gerinnsels machten. Von den für die Chininwirkung bezeichnenden Vorgängen war nichts zu bemerken.

Natriumbicarbonat 0,1 Mol. wirkte ebenso wie KOH.

Ammoniak 0,12 Mol. Bildung von Schleifen, Ringen, Körnchen. Schließlich stirbt die Zelle ab.

Ammoniumcarbonat 0,1 Mol. Nach wenigen Minuten Auftreten von Ringen, Zerfall der Netze und Querstränge in Tröpfchen. In einer unausgesetzt beobachteten Zelle war bei scharfem Zusehen auch nach 30 Min. der Einwirkung noch ein sehr dünner sich heftig bewegender Faden in der wimmelnden Körnchenmasse als Rest des ursprünglich dicken Querstranges zu sehen; die zarten Netzwerke zerfielen restlos in Tröpfchen. Beim Auswaschen traten nach 15 Min. zahlreiche Ringe und spirillenartige Fadenstücke auf; neben dem der Auflösung in Tröpfchen trotzenden Rest des Querstranges bildeten sich aus der ihn umgebenden Körnchenmasse noch mehrere andere dünnere Querfäden. Netzbildung völlig reversibel.

Ammoniumchlorid 0,1 Mol. Nach ca. 10 Min. Schleifen und Ringe in Bewegung, die vordem straff gespannten Querstränge legen sich in Windungen. Nach 20 Min. war ein großer Teil der Fadengebilde undeutlich

oder unsichtbar. Nach 30 bis 45 Min. kein Fortschreiten der bereits eingetretenen Veränderungen, eher ein Nachlassen der Bewegung.

Ammoniumnitrat 0,1 Mol. Nach ca. 5 Min. Bildung von Ringen, Querstränge geraten in wallende Bewegung, zum Teil körnig werdend. Nach 10 Min. auch tanzende Tröpfchen.

Ammoniumphosphat 0,1016 Mol. Nach ca. 10 Min. viele Stränge, besonders die dickeren Querstränge in wallender Bewegung; sich windende Fadenstücke und Körnchen in lebhaftester Molekularbewegung werden sichtbar. Beim Durchspülen von Wasser Wiederbildung oft sehr zierlicher Netze mit vorhergehendem Auftreten von Ringen.

Ammoniumoxalat 0,1 Mol. Nach ungefähr 1stündiger Einwirkung Bildung von Ringen und Zerfall in zahlreiche tanzende Körnchen.

Ammoniumtartrat 0,102 Mol. Nach 5 Min. bekamen besonders die Querstränge, aber auch manche Netzbalken ein körniges Aussehen. Nach 15 Min. bildeten sich die bestehenden Fadenstrukturen zu ausgesprochenen Netzen um, nach 20 Min. hatte sich ein vordem solider Querstrang in ein schmales Netzwerk umgewandelt. Auch nach 30 und 45 Min. ist das Bild dasselbe; von den uns interessierenden Vorgängen war nichts zu sehen.

Äthylamin wirkt ebenso wie NH^3.

p-Phenylendiamin 0,05 Mol. Die als Verbindungen der Chloroplasten anzusprechenden Fäden wurden zunächst körnig, gerieten dann in wallende Bewegung, zerfielen nach ca. 10 Min. in tanzende Tröpfchen. Auch sehr vereinzelte Chloroplasten in zitternder Bewegung. Nach ca. 15 Min. Auswaschen Wiederbildung der Ringe, Fäden usw. In einem anderen Falle erzielte ich auch nach 1½stündiger Einwirkung keine Veränderung. Bei

m-Phenylendiamin, 124-Toluylendiamin, 134-Toluylendiamin, sämtlich in 0,01 Mol., ließen sich selbst nach mehr als einstündiger Beobachtung keine Veränderungen erkennen.

Phenylhydrazin ohne Wirkung.

Naphtylamin. Nach ½ Stunde keine Veränderung.

Diphenylamin (bei Zimmertemperatur gesättigt). Nach 2 Min. bildeten sich aus den fädigen Gebilden große Tropfen, nach 3 Min. waren kleine, lebhaft tanzende und sich schlängelnde Fadenstücke sichtbar. Nach 20 Min. noch während der Einwirkung Wiederbildung von Schleifen und Ringen.

Chinolin (sehr verd.). Netze wurden nur feinmaschiger, ohne weitere Veränderungen zu zeigen.

Benzamid (gesättigt). Nach 2 Stunden keine Veränderung.

Salicylamid (gesättigt). Nach 10 Min. Auflösung der in Bewegung geratenen Querstränge in kurze, spirillenartig sich schlängelnde Fadenstücke. Nach 15 Min. Bildung von tanzenden Ringen und Schleifen, Tropfen verschiedener Größe in Molekularbewegung. Nach 20 Min. wiesen die Veränderungen keine wesentlichen Fortschritte auf.

Salzsäure 0,00846 n. Nach 15 Min. wurden die Netze undeutlich und verschwanden mit Eintritt des Todes.

Ameisensäure 0,0079 n. Nach 15 Min. keine der charakteristischen Veränderungen. Später Schädigung.

Kaliumformiat (0,079 n., Titer der verwendeten Ameisensäure). Keine Veränderung.

Essigsäure 0,01 n. Nach kurzer Zeit begannen einige Strukturen undeutlich zu werden, nach 20 Min. keine weitere Veränderung.

Kaliumacetat (0,1 n., Titer der verwendeten Essigsäure) wirkungslos.

Propionsäure 0,0086 n. Nach 5 Min. der Einwirkung Ringe in zitternder Bewegung, sonst erfolgte weiter keine Veränderung.

Kaliumpropionat (0,086 n., Titer der verwendeten Propionsäure). Nach 15 Min., abgesehen von dem Undeutlichwerden einzelner Strukturen, keine weiteren Veränderungen.

Buttersäure 0,0096 n. Sofort nach Zusatz gerieten die Querstränge in wallende Bewegung, reichliches Auftreten von vibrierenden Ringen und lebhaft sich windenden Schleifen. Schließlich kam alles wieder zur Ruhe bei Eintritt der Schädigung der Zellen.

Kaliumbutyrat (0,096 n., Titer der verwendeten Buttersäure). Gleich nach Zusatz wurden manche Strukturen undeutlich, nach 3 Min. waren in einigen Zellen Fadenstücke und Ringe in lebhafter Bewegung sichtbar. Veränderungen schreiten nicht weiter vor.

Capronsäure 0,0076 n. Fast momentan bildeten sich die den Saftraum durchsetzenden Stränge in größere Tropfen um, nach 3 Min. einzelne Fäden in Bewegung. Nach 10 Min. feine Tröpfchen in Brownscher Molekularbewegung. Die zarten Netze der Flächenwände wurden engmaschiger, es bildeten sich in ihnen kleine Tröpfchen. Alsbald trat Schädigung der Zellen Zellen ein.

Kaliumcapronat (0,076 n., Titer der verwendeten Capronsäure). Nach längerer Einwirkung bildeten sich Ringe und Schleifen in wallender Bewegung, welche Veränderungen auch nach ¾ Stunden keinen Fortschritt aufwiesen.

Valeriansäure 0,0093 n. Sehr rasche Auflösung der Fadenstrukturen in schwingende Fäden und Ringe in zitternder Bewegung. Nach 5 Min. tanzende Tröpfchen. Beim Auswaschen bildeten sich nach 10 Min. Ringe und undeutliche Streifen, schließlich wieder zwischen den Chloroplasten ausgespannte Stränge.

Kaliumvalerianat (0,093 n., Titer der verwendeten Valeriansäure). Nach 5 Min. Ringe in manchen Zellen. Nach 15 Min. breite, schwer sichtbare Bänder, vereinzelt Fadenstücke in Bewegung, welche durch Zerfall mancher Stränge entstanden sind. Auch größere Tropfen und myelinartige Formen sichtbar. Bild änderte sich nicht mehr wesentlich.

Methylalkohol 5 %. Nach 2—3 Min. Stränge und Fäden in wallender Bewegung, Bildung von Schleifen und Ringen, auch schon Auftreten von Tröpfchen in Brownscher Molekularbewegung.

Äthylalkohol 1 %. Nach wenigen Minuten wurden die Fadenbildungen zum größten Teil undeutlich und verschwanden. An ihrer Stelle

tauchten verschwommene, ziemlich breite, bandartige, oft sich überkreuzende Streifen oder Balken auf. Nach ca. 10 Min. traten auch große, meist solide, aber auch vakuolisiert erscheinende Tropfen derselben Lichtbrechung wie die Netze und Fäden auf, die ihre Form in mannigfaltiger Weise — sie wurden z. B. oval, zeigten auch kolbenartige Auswüchse — änderten; auch breite Fäden, kolbenartige Gebilde und überhaupt Formen, die an die bekannten Myelinbildungen sehr erinnerten, wurden sichtbar, während die eben erwähnten breiten Streifen verschwanden. Schließlich auch die aus den früheren Versuchen her vertrauten Fäden, Ringe und Körnchen in Bewegung. — 5 %. Nach ca. 10 Min. Bewegung und teilweises Körnigwerden der Fadenstrukturen, schließlich Zerfall derselben in feine Tröpfchen in lebhafter Bewegung, die hier häufig im Vergleich zu den mit Chinin erzielbaren auch etwas größer zu sein scheinen. Beim Auswaschen Wiederbildung der ursprünglichen Netze. — 10 % wirkte ebenso, nur schon nach kürzerer Zeit (3 Min.). Vor der Auflösung in Tröpfchen und nachher beim Durchziehen des Wassers oft schon nach 10 Min. Auftreten von sich lebhaft bewegenden Ringen und Schleifen. Die Verdrängung des Alkohols erfolgt offenbar viel rascher als die des Chinins in der noch wirksamen Konzentration. — 20 % wirkt ebenso, nur schädigt es bald. Manche der Stränge und Fäden lösten sich nicht völlig in Tröpfchen auf, sondern wurden nur körnig und boten dann manchmal das Aussehen von Perlschnüren mit schütter voneinander abstehenden Körnchen, die bisweilen eine geringe Molekularbewegung erkennen ließen.

Isopropylalkohol 2 %. Nach 1 Min. Schleifen und Ringe, nach 5 Min. Zerfall in tanzende Tröpfchen.

Isobutylalkohol 1 %. Nach ca. 2 Min. Schleifen und Ringe, nach 5 Min. Auflösung in Körnchen in Brownscher Molekularbewegung. Eine Zeitlang war ein Ring zu sehen, der einen Teil dieser Tröpfchen umschloß und den Eindruck einer Vakuole hervorrief.

Sek. Amylalkohol 1 %. Nach ca. 2 Min. Ringe und tanzende Tröpfchen.

Allylalkohol 1 %. Nach 3 Min. in einigen Zellen Ringe und Schleifen, nach 5 Min. spirillenähnlich sich windende Fadenstücke und tanzende Körnchen.

Glyzerin 0,1 Mol. Auch nach 1 Stunde keine dieser Veränderungen.

Äthyläther (die bei Zimmertemperatur gesättigte Lösung wurde mit Wasser in dem Verhältnis 2 : 1, 1 : 1, 1 : 2, 1 : 5, 1 : 9 verdünnt). Besonders die letzten zwei Konzentrationen glichen in der Art ihrer Wirkung der des Alkohols.

Chloralhydrat 0,1 Mol. Nach 2 Min. bereits Zerfall in lebhaft tanzende Tröpfchen, der nach 5 Min. vollständig ist. Dann allmähliche Rückbildung der Netzstrukturen trotz der Einwirkung der Lösung.

Aceton 5%, 10%, 15% bewirkte in ganz gleicher Weise wie Alkohol eine beim Auswässern völlig reversible Auflösung in Körnchen, die auch alle Zwischenstadien der Bildung von Ringen, Schleifen usw. erkennen ließ.

Methylacetat 5 %. Schon nach 1 Min. Schleifen, Ringe und Tröpfchen in lebhaftester Molekularbewegung.

Äthylacetat wirkt ähnlich, besonders in niedrigen Konzentrationen. In einer 5proz. Lösung trat der Zerfall in Tröpfchen erst beim Durchspülen mit Wasser ein.

Äthylurethan 0,1 Mol. Nach 2 Min. wallende Bewegung der Stränge, nach 5 Min. Ringe und Schleifen, nach 15 Min. kurze, lebhaft tanzende Fadenstücke.

Harnstoff 0,1 Mol. Nach 15 Min. keine Veränderung.

Saponin 1 %. Abgesehen davon, daß die Querstränge in manchen Zellen in wallende Bewegung gerieten, stellten sich auch nach mehrstündiger Einwirkung keine Veränderungen der Netzstrukturen ein.

Die übrigen Moose.

Bei den meisten der im folgenden angeführten Moose wurde nur das Verhalten der Fadenbildungen zu Chinin und Alkohol untersucht.

Riccia fluitans.

Chininbase. Auf Zusatz fast momentaner Zerfall der Fadenstrukturen in lebhaft tanzende Tröpfchen. Nach ca. 5 Min. Wasserdurchspülung Wiederbildung von Schleifen und Ringen, die durch Aneinanderlagerung der Tröpfchen entstanden, anfangs ein körniges Aussehen hatten, später aber meist wieder homogen wurden und nach 15—30 Min. des Auswaschens wieder zur Ruhe, natürlich in veränderter Form, kamen.

Äthylalkohol (5 und 10 %) bewirkte ebenfalls eine Auflösung der Fäden in Tröpfchen von lebhafter Brownscher Molekularbewegung, die schon nach 2 Min. des Auswaschens wieder zu spirillenartig sich windenden Fadenstücken und wallenden Schleifen zusammentraten; es entstanden schließlich (30 Min.) Netzstrukturen oder dickere Stränge, wie sie vordem in den Zellen zu sehen waren.

Marchantia polymorpha.

Chininbase wie auch Äthylalkohol (10 %) führten die Auflösung der Chloroplastenverbindungsstränge in tanzende Tröpfchen herbei. Beim Auswaschen Auftreten von Ringen; nach 20 Min. ist die Wiederbildung der Strukturen beendet.

Pellia calycina.

Chininbase. Die Stränge zerfielen alsbald in tanzende Körnchen, noch bevor der im Zellsaft gelöste Gerbstoff auszufallen begann. Dann wurde sofort Wasser durchgespült; in Zellen, in denen noch kein Gerbstoffniederschlag aufgetreten war, ließ sich die Wiederbildung der Fäden aus den tanzenden Tröpfchen mit dem Zwischenstadium der spirillenartig sich bewegenden Fadenstücke erkennen. Einwirkung von

Äthylalkohol (10 %) hatte die gleichen reversiblen Veränderungen der Stränge zur Folge.

Lophozia barbata.

Auf Zusatz von

Chinin wie auch 10 % Alkohol verschwanden die Strukturen nach wenigen Minuten; in manchen Zellen gelangten Ringe zur Beobachtung, die immer undeutlicher wurden, ohne ein körniges Aussehen zu erlangen. Beim Auswaschen treten fast in allen Zellen diese in zitternder Bewegung befindlichen Ringe auf. Wahrscheinlich sind die Körnchen deshalb nicht zur Beobachtung gelangt, weil ihre Größe unterhalb der Grenze der mikroskopischen Sichtbarkeit lag. Das Chinin hat hier auch eine Gerbstoffausfällung zur Folge; doch backen die anfangs tanzenden Teilchen des Niederschlages zu größeren ruhenden Massen zusammen oder sinken in die Tiefe des Zellsaftes, ohne der Beobachtung weiter hinderlich zu sein.

Lophocolea bidentata.

Nach ca. 5 Min. der Einwirkung von 10 % Alkohol Auftreten tanzender Tröpfchen auf Kosten der vordem in wallende Bewegung geratenen Stränge. Beim Auswaschen Bildung von Ringen.

Blyttia Lyttii.

Auf Chinin zusatz gerieten die Fadenstrukturen in wallende Bewegung und lösten sich schließlich in lebhaft tanzende Körnchen auf, die nur bei sehr starken Vergrößerungen sichtbar waren. Diese Auflösung erfolgt früher, bevor noch der Gerbstoff ausfällt. 10 % Alkohol wirkte ebenso wie Chinin.

Tortula subulata.

Chininhydrochlorid 0,001 Mol bewirkte Zerfall in feine, kaum sichtbare, lebhaft tanzende Tröpfchen; beim Auswaschen mit Wasser bildeten sich Ringe, Schleifen und Fadenstücke mit spirillenähnlicher Bewegung, schließlich entstanden wieder die ursprünglichen Stränge. Auf Zusatz von

Äthylalkohol 10 % bildeten sich ca. erst nach 15 Min. aus den Strängen in den Blattzellen, wie auch in den Rhizoiden, Ringe und Schleifen; die langen Stränge zerfielen in kürzere, mannigfach sich windende Fadenstücke, nach 30 Min. zerfielen sie in manchen Zellen in Massen von sehr kleinen Tröpfchen, deren Gegenwart sich oft nur durch ein Flimmern verriet.

Mnium rostratum (?).

Nach ungefähr halbstündigem Durchleiten von Chininlösung oder 10 % Alkohol gerieten viele Fäden in Bewegung, es treten Ringe, spirillenartig sich windende Fadenstücke und schließlich lebhaft tanzende Tröpfchen auf.

Catharinaea undulata.

10 % Äthylalkohol verursachte schon nach ca. 5 Min. den Zerfall der Fäden in zahlreiche, feine Tröpfchen in lebhafter Bewegung; nach ¼stündigem Durchleiten von Wasser Bildung von Schleifen, Ringen usw. Dagegen

vermochte 0,001 Mol. Chininhydrochlorid einen derartigen Erfolg an frisch eingebrachtem Material selbst nach 30 Min. Einwirkungszeit nicht herbeizuführen; mit Blättern aber, die ca. 3 Wochen in feuchter Luft in einem Glase sich befanden und nach dem Aussehen der Chloroplasten zu schließen, wohl nicht mehr ganz normal waren, gelang mir die Auflösung der Stränge in tanzende Körnchen schon binnen 5 Min. Einzelne Chloroplastenverbindungsstränge blieben erhalten.

Hookeria lucens.

Chininbase: Zerfall der Stränge in sehr feine, in lebhaftester Molekularbewegung befindliche Tröpfchen, die im gewöhnlichen Mikroskop nur mit den stärksten Vergrößerungen, besser im Ultramikroskop sichtbar waren. Dagegen hatte

Äthylalkohol (5 und 10 %) selbst nach einstündiger Einwirkung keine derartigen Vorgänge im Gefolge. Nach ca. 6stündiger Einwirkung von

p-Phenylendiamin 0,05 Mol. waren in den Zellen zahlreiche kurze Fadenstücke und Körnchen in lebhafter Brownscher Molekularbewegung.

Osmiumsäure hat interessante Vorgänge bei der Fixierung der Zellen gezeigt. Auf Zusatz dieser Säure erstarren nämlich die Fadenstrukturen in den Blattzellen der Hookeria, so verschieden sie auch gestaltet sein mögen, momentan zu einem auffallend regelmäßigen Netzwerk, eine Erscheinung, die mir sonst bei keinem der untersuchten Moose begegnet ist (Fig. 10, 11, Taf. I).

Cyathophorum pennatum.

Chininbase, Chininhydrochlorid 0,01 und 0,001 Mol. Nach wenigen Minuten gerieten die in den intakten Zellen in Ruhe oder nur in geringer gleitender Bewegung befindlichen, zu Perlschnüren angeordneten Körnchen in stärkere Molekularbewegung, wobei sie so durcheinander kamen, daß ihre reihenförmige Anordnung nicht mehr zu erkennen war. Diese Beobachtung spricht dafür, daß die Fadensubstanz, der die Körnchen aufsitzen, in irgendeiner Weise alteriert wird, und tatsächlich läßt sich in günstigen Fällen ihr Zerfall in winzige, kaum sichtbare, lebhaft tanzende Tröpfchen konstatieren. Beim Auswaschen traten die bekannten spirillenartigen Fadenstücke und Ringe auf, bis sich schließlich wieder die Strukturen vom ursprünglichen Aussehen gebildet hatten.

Aceton (5, 10, 15 %) bewirkte nicht derartige Veränderungen, bei 20 % backen die aufsitzenden stark lichtbrechenden Körnchen zusammen.

Hypnum cuspidatum.

Chininbase. Gleich nach Zusatz Auftreten vibrierender Ringe, tanzender Fadenstücke und sehr feiner Tröpfchen, darunter sind auch die stark lichtbrechenden Körnchen, die vordem den Netzbalken aufsaßen, noch erkennbar.

Weder 5 oder 10 % Äthylalkohol, noch 5 % Aceton hatte diese mit Chinin erzielbaren Veränderungen der Fadenstrukturen zur Folge.

Überblickt man all diese Beobachtungen, so ergibt sich sowohl für die verschiedenen Moose, wie auch für die angewandten Agentien, sofern sie überhaupt wirksam waren, eine große Gleichartigkeit der in den Filargebilden sich abspielenden Vorgänge, so mannigfach diese Strukturen auch gestaltet sein mögen. Eine Zusammenfassung der soeben mitgeteilten Einzelbeobachtungen läßt ohne weiteres erkennen, daß der schließlichen Auflösung der Strukturen in Tröpfchen als dem Endstadium der durch den Eintritt eines Stoffes in die lebende Zelle bedingten Veränderungen einige charakteristische Vorstufen vorangehen, wodurch eine genügende Kontinuität dieser Umwandlungen geschaffen ist, so daß es nicht schwer fällt, gewisse nicht in diese Gruppe gehörige Veränderungen durch bestimmte Agentien zu sondern. Diese zur endgültigen Auflösung der Fadenbildungen in Tröpfchen führenden Zwischenstufen werden von den energischer wirkenden Stoffen oft übersprungen, lassen sich aber auch bei diesen, wenn man sie durch Auswaschen entfernt — dann natürlich in verkehrter Aufeinanderfolge — erkennen.

Der ganze Vorgang des Zerfalles und der Wiederbildung der Faden- und Netzstrukturen läßt sich etwa durch folgende Stadien, jedoch nicht mit strenger zeitlicher Folge, charakterisieren. Zeigen die Fäden in den intakten Zellen die eingangs beschriebenen, relativ langsamen Gestalts- und Lageveränderungen, so vollführen sie und ihre Zerfallsprodukte bei Gegenwart eines wirksamen Stoffes lebhafte Bewegungen, die eigentlich erst an der schließlich entstehenden wimmelnden Tröpfchenmasse als Brownsche Molekularbewegungen sich zu erkennen geben und nur infolge der Länge und Biegsamkeit der Fäden ein abweichendes Aussehen bieten. Nicht selten kann man ein Körnigwerden einzelner Fäden beobachten, doch scheint dieses für die hier in Betracht kommenden Vorgänge nicht charakteristisch zu sein, da es auch durch andere sonst unwirksame Stoffe erzielt werden kann, und weil beim Auswaschen meist von vornherein homogene gleichförmig aussehende Fadengebilde entstehen. Daß vordem ruhende Stränge nun in Bewegung treten können, wird später noch besprochen. Der allmähliche Zerfall der Strukturen bedingt das Bersten von Netzmaschen,

das Auftreten von Ringen oft in großer Zahl, die in merkwürdig zitternd-tanzender Bewegung sich befinden. In der ringförmigen Form der Zerfallsprodukte gelangen die in den Netzen, die man sich durch Aneinanderlagerung von Ringen entstanden denken kann, herrschenden Spannungszustände zum Ausdruck, und tatsächlich läßt sich manchmal der Übergang einer Netzmasche in einen Ring oder der umgekehrte Vorgang direkt verfolgen. Dieselbe Entstehungsweise gilt für die vielleicht noch häufigeren Schlingen und Schleifen in wallender Bewegung, die hufeisenförmigen Gebilde, endlich die spirillenartig sich schlängelnden kurzen Fadenstücke; einige dieser Formen bedeuten zweifellos einen Fortschritt gegenüber dem Ringstadium, da man manchmal ihre Bildung aus den Ringen beobachten kann. Als Abschluß des Zerfalles fügt sich schließlich das Tröpfchenstadium an, welches den Höhepunkt der Dispergierung bedeutet; die Tröpfchen, die durch die lebhafte Molekularbewegung alsbald den Ort ihrer Entstehung verlassen, weisen sehr verschiedene Größe auf, manchmal stehen sie an der Grenze der mikroskopischen Sichtbarkeit.

Manche der sonst recht gleichartig aussehenden Stränge trotzen der Auflösung in Tröpfchen aus mir unbekannten Gründen; häufig werden sie dabei körnig. Die meisten der Fäden und Stränge aber fallen einer restlosen Auflösung in Tröpfchen anheim. So kann man z. B. an den vorher straff gespannten Querströngen in den basalen Zellen von Funaria auf Zusatz eines wirksamen Agens ein Ausbiegen derselben zu Schleifen beobachten, die sich auch als Ringe abschnüren können, auf jeden Fall aber zur Gänze in Tröpfchen sich auflösen. In anderen Fällen zerfielen diese Querstränge nur zum größten Teil in Körnchen, in der wimmelnden Tröpfchenmasse war bei genauer Beobachtung trotz langer Einwirkung des betreffenden Mittels ein feiner Faden, der sehr stark hin und her bewegt wurde, übrig geblieben. Die den Kern enthaltende von dem Querstrang vorgezogene Plasmakuppe flachte sich fast ganz ab, ein Zeichen dafür, daß die Spannung des ursprünglichen Querstranges nachgelassen hat. Diese Differenzen im Verhalten des Querstranges bei der Auflösung in Körnchen lassen dann auch die Unterschiede beim umgekehrten Vorgang verstehen; aus

den Tröpfchen kann nämlich nach Beseitigung des dispergierenden Stoffes entweder wiederum ein Querstrang desselben Aussehens und derselben Lage wie vordem oder ein schmales Band von Netzmaschen an der Flächenwand entstehen.

Hervorgehoben seien noch die Veränderungen der Fadenstrukturen von Funaria auf Zusatz von langsam wirkenden Mitteln z. B. 1% Alkohol: rasches Undeutlichwerden und Verschwinden der Fadenbildungen, ein an ihrerstatt auftretendes System von breiten, verschwommenen, oft sich überkreuzenden bandartigen Streifen; Bildung von größeren Tropfen und myelinartigen Formen, während das Streifensystem immer mehr schwindet; schließlich Fäden, Ringe und Tröpfchen in lebhafter Molekularbewegung.

Bei Entfernung des wirksamen Stoffes durch Auswaschen, vorausgesetzt, daß die Zelle nicht allzu sehr geschädigt worden ist, bilden sich nun die zerfallenen Strukturen allmählich wieder aus der an Menge immer mehr abnehmenden Tröpfchenmasse; in ihr sieht man die Fadenbildungen, vorerst nur an ihren schattenhaften Umrissen erkennbar, auftauchen, es treten wieder deutlich sichtbare Fadenstücke, Schleifen in Brownscher Molekularbewegung auf, desgleichen die besonders auffälligen Ringe, die gewissermaßen als Gleichgewichtsfiguren der in ihrer Substanz herrschenden Spannungen aufgefaßt werden können. In seltenen Fällen kann man sogar das Aneinanderreihen von Tröpfchen und das Verschmelzen von solchen mit bereits entstandenen Fäden beobachten. Nebenher geht ein Nachlassen der Brownschen Molekularbewegung; die Tröpfchen, die vordem regellos durcheinander schwangen, scheinen sich nun in ihrer Bewegung zu beeinflussen, als ob eine unsichtbare Verbindung zwischen ihnen geschaffen worden wäre. Schließlich treten wieder die ursprünglichen Faden- und Netzstrukturen auf, welche, nachdem sie noch eine Zeitlang lebhafte Bewegungserscheinungen gezeigt hatten, allmählich zur Ruhe kommen, d. h. sie ändern dann nur mehr relativ langsam ihre Gestalt und Lage, wie es oben für intakte Zellen beschrieben worden ist. Die Form und Lage der rückgebildeten Strukturen kann natürlich nicht dieselbe sein wie vor der Auflösung, da ja die Brownsche Molekularbewegung der Zerfallsprodukte eine ausreichende Dislozierung derselben bewirkt hat.

Die Entfernung des wirksamen Stoffes durch Auswaschen bedingt also die Rückkehr aller vom allmählichen Zerfall der Fäden und Netze in Tröpfchen her bekannten Stadien jedoch in umgekehrter Reihenfolge. Bemerkenswert ist die Tatsache, daß diese Rückbildung oft schon bei Gegenwart des die Dispergierung bewirkenden Agens eintritt.

Gewisse andere nebenher beobachtete Veränderungen an den Fadenstrukturen stehen wohl außerhalb dieser Erscheinungsfolge, so z. B. die Annahme ausgesprochener Netz- oder Schaumstrukturen, das Undeutlichwerden und Verschwinden der Filargebilde bei langer Einwirkung eines Stoffes; letzteres ist wohl mit der sich allmählich einstellenden Schädigung der Zellen verknüpft, da es auch an anderweitig geschädigten Zellen beobachtet wurde. An solchen oder gar an toten Zellen konnte ich Auflösung der noch sichtbaren Strukturen in Tröpfchen nicht erzielen, was ich aber nicht verallgemeinern möchte.

Die Auflösbarkeit der Stränge, Fäden, Netze in Tröpfchen oder das Auftreten von charakteristischen Vorstufen derselben, verbunden mit der Reversibilität dieses Prozesses, bildete neben der oft weitgehenden morphologischen Ähnlichkeit stets das Kriterium zur Erkennung der in vorliegender Arbeit beschriebenen Strukturen. Diese intra vitam mögliche Reversibilität von Vorgängen, die durch den Eintritt gewisser Stoffe hervorgerufen, durch auffällige morphologische Veränderungen innerhalb der Zelle sinnfällig werden, verdient besonders deshalb Beachtung, weil derartige Vorgänge bisher nur in geringerer Zahl bekannt geworden sind; am bekanntesten sind wohl die Aggregationen im Zellsaft gerbstoffreicher Pflanzen durch verschiedene basische Stoffe. Daß es sich in unserem Falle nicht um diese überaus häufigen Erscheinungen handeln kann, unter die zweifellos auch die von Eisler und Portheim[1] beobachtete Körnchenbildung in mit Chinin behandelten Elodeazellen einzureihen ist, folgt schon aus dem Verlauf derselben, ihrem Eintritt

[1]) v. Eisler u. Portheim, Über die Beeinflussung der Giftwirkung des Chinins auf Elodea canadensis durch Salze. Bioch. Zeitschr. 1909. **21**, 59.

Moldowan, J., Untersuchungen über die Wirkungsweise des Chinins. Ebenda. 1912. **47**, 421.

auch in Pflanzen, die offenkundig keinen Gerbstoff in ihrem Zellsaft gelöst enthalten, aus der Wirksamkeit von Stoffen, die nicht gerbstoffällend wirken können, endlich aus der Möglichkeit, diese Vorgänge von einer nebenher erfolgenden Niederschlagsbildung zu trennen.

Weist nun das Gesamtbild der Erscheinungen bei den verschiedenen Moosen und wirksamen Stoffen unzweifelhaft eine weitgehende Übereinstimmung auf, die sogar für die meisten hier angeführten Moose Gleichheit der Vorgänge vermuten läßt, so gibt es doch zwischen den einzelnen Moosen hinsichtlich der wirksamen Stoffe sowohl wie auch zwischen letzteren nach dem Grade ihrer Wirksamkeit Unterschiede, die am besten aus folgenden Tabellen ersehen werden können. Manche der geprüften Agentien (++) bewirken momentan den Zerfall in Tröpfchen, während bei anderen (+), weniger energisch sich äußernden Agentien, die auf dieses Endstadium hinarbeitenden Prozesse einen größeren Zeitraum erfordern, ohne daß es auch immer zu jener tropfigen Auflösung kommen braucht; endlich gibt es nur manchmal (+, —) oder gänzlich unwirksame Stoffe (—). Will man daher die zum tropfigen Zerfall führenden Vorgänge kennen lernen, muß man weniger energisch wirksame Mittel oder die rasch wirkenden in größerer Verdünnung verwenden.

Tabelle I.

	Fontinalis	Funaria
Chininbase	++	++
Chininhydrochlorid . . .	++	+
Chininbisulfat	—	—
Cinchonamin	++	+
Strychninnitrat	++	+
Brucinnitrat	++	+
Cocaïnhydrochlorid . . .	++	+
Morphin	—	—
Koffeïnbase	—	+
Codeïnhydrochlorid . . .	+	+
NaOH oder KOH . . .	—	—
Na_2CO_3 und $NaHCO_3$ . .		—
Ammoniak	+	+
Ammoniumcarbonat . .	+	++
Ammoniumchlorid . . .		+

Tabelle I (Fortsetzung).

	Fontinalis	Funaria
Ammoniumnitrat		+
Ammoniumphosphat . .		+
Ammoniumoxalat . . .	+	+
Ammoniumtartrat . . .		—
Äthylamin	++	+
p-Phenylendiamin . . .	+, —	+, —
m-Phenylendiamin . . .	—	—
124-Toluylendiamin . . .	+, —	—
134-Toluylendiamin . . .	+	—
Phenylhydrazin	—	—
Naphtylamin	—	—
Diphenylamin	—	+
Pyridin	—	
Chinolin	—	—
Benzamid	—	—
Salicylamid	—	+
Salzsäure		—
Ameisensäure		—
Kaliumformiat		—
Essigsäure		—
Kaliumacetat		—
Propionsäure		+
Kaliumpropionat		—
Buttersäure	—	+
Kaliumbutyrat		+
Capronsäure	—	++
Kaliumcapronat		+
Valeriansäure	—	++
Kaliumvalerianat	—	+
Methylalkohol		++
Äthylalkohol	—	++
Isopropylalkohol		++
Isobutylalkohol		++
sek. Amylalkohol		++
Allylalkohol		++
Glyzerin		—
Äthyläther		++
Chloroform		++
Chloralhydrat		++
Aceton	—	++
Methylacetat		++
Äthylacetat		++
Äthylurethan	—	+
Harnstoff	—	—
Saponin	—	—

Tabelle II.

	Chinin	Alkohol
Riccia fluitans	++	++
Marchantia polymorpha .	++	++
Pellia calycina	++	++
Lophozia barbata . . .	++	++
Mnium rostratum (?) . .	+	+
Catharinaea undulata . .	—, +[1]	++
Hookeria lucens	++	—
Lophocolea bidentata . .		++
Blyttia Lyttii	++	++
Tortula subulata	++	+
Cyathophorum pennatum	++	—
Hypnum cuspi atum . .	++	—

Aus dieser Übersicht ersieht man besonders, wenn man die Verhältnisse bei Funaria ins Auge faßt, daß eine große Zahl recht verschiedener Verbindungen der Zelle appliziert, den tropfigen Zerfall der Fäden herbeiführt. Besonders fällt die fast auf alle untersuchten Moose sich erstreckende Wirksamkeit des Chinins und seiner Salze auf, deren Raschheit wohl auf die bekannte große Permeabilität der Plasmahaut für Alkaloide zurückzuführen ist. Die völlige Unwirksamkeit des Chininbisulfats dürfte neben seiner geringeren Lipoidlöslichkeit, welche die Salze der meisten Alkaloide gegenüber ihren freien Basen aufzuweisen haben, hauptsächlich durch die sauren Eigenschaften dieser Verbindung zu erklären sein; die Chininbase andererseits schien noch energischer den Zerfall der Fäden in Tröpfchen herbeizuführen als das Chininhydrochlorid; während 0,001 Mol Chininhydrochlorid bereits wirkungslos war, bewirkte Chinin purum in derselben Konzentration schon nach 5 bis 10 Min. tropfigen Zerfall der Fadenknäuel von Fontinalis. Dies wäre in analoger Weise zum Teil auf die größere Lipoidlöslichkeit der Base, vor allem aber auf die Gegenwart der OH'-Ionen zu setzen[2]. Diese Angaben stehen im Einklang mit den sonstigen Erfahrungen, die man bei kombinierter Wirkung von Alkaloiden mit H·- und OH'-Ionen gemacht hat.

Daß aber eine eventuelle saure Reaktion des Zellsaftes selbst nicht allein das Hindernis darstellen kann, durch dessen bloße

[1]) Siehe S. 119.

[2]) Traube, J., Über Oberflächenspannung und Flockung kolloider Systeme. Kolloidchem. Beih. III. 1912.

Entfernung der Zerfall in Tröpfchen erfolgen würde, zeigt die Einführung von $NaOH$ oder Na_2CO_3. Ammoniak dagegen entfaltet starke dispergierende Wirkungen; dieselben, wenn auch im Vergleich zum NH_3 bedeutend abgeschwächten Erfolge kann man mit den neutralen Ammoniumsalzen erzielen, was am besten vom Standpunkte einer stärkeren Adsorption des Ammoniumions verständlich erscheint. Während das Äthylamin in seiner Wirkung völlig dem NH_3 gleicht, erhielt ich mit den aromatischen Aminen sehr ungleiche Resultate.

Zu den am besten die tropfige Auflösung bewirkenden Mitteln können die Alkohole, ferner Aceton, Äther, auch Chloroform gerechnet werden. Aber auch die höheren Glieder der Fettsäuren stehen in dieser Beziehung den soeben genannten Stoffen nicht nach. Daß gerade diesen Mitteln ausgezeichnete Wirkung zukommt, darauf will ich noch später (S. 133) zurückkommen.

Daß mit Saponin keine Wirkung zu erzielen ist, könnte darin begründet sein, daß es nicht bis zu den Fadenstrukturen vordringen kann. Doch darf man selbstverständlich die Unwirksamkeit eines Stoffes nicht stets auf Rechnung dieses Faktors setzen, denn auch ein sonst in unserem Sinne unwirksamer Stoff verrät oft seine Gegenwart in der Zelle durch andere in ihr hervorgerufene Veränderungen.

Die Tabellen verweisen ferner auch auf die Unterschiede zwischen den verschiedenen untersuchten Moosen hinsichtlich des Verhaltens der Filarstrukturen eindringenden Stoffen gegenüber. Manche dieser Differenzen dürften sich wohl ebenfalls auf Unterschiede in der Diosmierbarkeit zurückführen lassen und fraglos könnten solche schon durch gewisse Eigentümlichkeiten der Membran gegeben sein. Doch ist auch hier das oben Gesagte zu beachten.

Während bei Funaria eine große Zahl der verschiedensten Stoffe die ganz gleichartigen Vorgänge der Auflösung in Körnchen herbeiführt, sind sie für Fontinalis nur auf Alkaloide und Ammoniakderivate beschränkt; die organischen Fettsolventien versagen bei Fontinalis völlig und zwar wohl deshalb, weil sie schon in geringen Konzentrationen Lösungserscheinungen in dem fettreichen Substrate der Fadenknäuel hervorrufen. In

diesem Sinne ist auch die Hemmung der Auflösung der Knäuel in Tröpfchen durch Chinin bei gleichzeitiger Darreichung von Alkohol — bei 15 % Äthylalkohol tritt überhaupt kein Zerfall in Tröpfchen mehr ein — begreiflich, während eine Verhinderung der tropfigen Auflösung der Funariastrukturen durch diese Stoffkombination, deren Komponenten, einzeln dargereicht, für dieses Moos wirksam sind, nicht zu erzielen war. Vielleicht spielen da stoffliche Unterschiede in der Fadensubstanz bei diesen und anderen Moosen mit hinein; auf die Existenz solcher scheint auch — abgesehen von der großen Wahrscheinlichkeit derselben — die von mir sonst nirgends als an Hookeria beobachtete auffällige Formveränderung der Netze bei Fixierung mit Osmiumsäure hinzudeuten. (Siehe Fig. 10, 11 auf Taf. I und S. 119.)

An dieser Stelle sei endlich auch auf die Möglichkeit hingewiesen, daß es in den Zellen der Moose Fadenstrukturen von anderen Eigenschaften als den hier geschilderten geben kann, dafür sprechen meine Erfahrungen an einigen in dieser Arbeit nicht angeführten Moosen, wo mir eine Auflösung der Fadenstrukturen in Tröpfchen weder mit Chinin, noch mit Alkohol gelingen wollte. Vielleicht könnte auch in ähnlicher Weise eine differente Zusammensetzung einzelner Fadenteile in ein und derselben Zelle der Grund sein, daß solche dem Zerfall in Tröpfchen selbst bei langer Einwirkung des die Strukturen sonst dispergierenden Stoffes trotzen und meist nur ein körniges Aussehen annehmen. Die wiederholt beobachtete Rückbildung der aufgelösten Strukturen noch bei Gegenwart des wirksamen Agens entzieht sich vorläufig einer plausibeln Deutung.

Alle Autoren, die sich bisher mit den auffälligen Differenzierungen in den Zellen von Funaria beschäftigt haben, sprechen sich dahin aus, daß diese Strukturen im Plasma gelegen sind. Senn (l. c. S. 302) sagt nur mit Beziehung auf die unbeweglichen Längsstränge: »Wie Schwarz (1892. S. 134) an Mnium, so konnte ich an Funaria immerhin feststellen, daß die Längsstränge unter-, resp. innerhalb der Chloroplasten, also wohl an oder in der inneren Plasmahautschicht verlaufen, vielleicht als Differenzierungen derselben, deren Bedeutung allerdings noch

unbekannt ist«. Nach Knolls (l. c. S. 1234) Beobachtungen »bilden die als Verbindungsfäden zwischen den Chloroplasten erscheinenden Plasmadifferenzierungen ein vollständiges Netz, welches sich im Cytoplasma zwischen den Chloroplasten und der inneren Plasmahaut befindet und dieser letzteren vielleicht unmittelbar anliegt«. Auch Linsbauer und Abranowicz (l. c. S. 170) geben an, daß die Fadennetze im wandständigen Plasma gelagert sind.

Knolls Mitteilung, daß man auch schon durch scharfe Einstellung einmal auf die Chloroplasten, das andere Mal auf die Netzstrukturen, imstande ist zu entscheiden, daß letztere unter den Chloroplasten liegen, kann ich voll bestätigen.

Aus den oben zitierten Angaben ergibt sich die Annahme einer großen Annäherung der in Frage kommenden Strukturen an die Vakuolenhaut. Nach meinen Beobachtungen muß ich die Placierung derselben noch etwas weiter gegen das Zentrum der Zelle zu verlegen, und wenigstens für die weitaus häufigsten Fadenbildungen, die dispergierbar sind, den Schluß ziehen, daß sie der Zellsaftseite der Vakuolenhaut anliegen. Deshalb wurde im Vorausgehenden stets vermieden, etwas über die örtliche Anordnung dieser Fadenbildungen in der Zelle auszusagen. Denn nur mit dieser Annahme lassen sich folgende Beobachtungen bei dem Zerfall der Fäden und Netze verstehen. In manchen Fällen gelingt es, das Abheben einer Netzmasche als Ring, der dann in vibrierende Bewegungen gerät, direkt zu verfolgen; manchmal ist er noch an einem im wandständigen Plasma haftenden Faden aufgehängt. Die Fadenstücke und Tröpfchen, in welche die an einer Wandfläche sichtbaren Strukturen zerfallen, bewegen sich oft deutlich ein kleines Stück von dieser in den Zellsaft hinein. Die lebhafte Brownsche Molekularbewegung der Fäden und ihrer Zerfallsprodukte ist unvereinbar mit der im Plasma herrschenden und im Vergleich zu der des Zellsaftes bedeutend höheren Viskosität, zu der ja die Amplitude der in Molekularbewegung schwingenden Teilchen im verkehrten Verhältnis steht. Wollte man trotzdem mit einer Viskositätsänderung des Plasmas auf Zusatz der wirksamen Mittel den plötzlichen Übertritt vordem ruhender Fäden in den Zustand der Bewegung erklären, dann könnte man nicht verstehen,

warum die übrigen Plasmakontenta nicht ebenfalls in Molekularbewegung geraten (siehe auch unten). Auch das völlig unveränderte Aussehen des Plasmaschlauches spricht nicht für eine Viskositätsänderung, auch wenn man eine solche nur für die innern Plasmaschichten annehmen wollte.

Die somit für die meisten Fadenbildungen mir nicht annehmbar erscheinende Annahme ihrer Lagerung im wandständigen Plasma im Verein mit der ihnen für die Chloroplastenbewegung zugeteilten und im folgenden noch zu erörternden Bedeutung für die Chloroplastenbewegung hat wohl am meisten dazu beigetragen, sie als plasmatische Differenzierungen anzusehen, nicht so sehr die von Senn (l. c. S. 303) angegebene intensive Speicherung von Jod und die im Dreifarbengemisch erzielbare grauviolette Färbung derselben. Da der Begriff des Protoplasmas seiner Genese nach im wesentlichen doch ein morphologischer, im chemischen Sinne aber nicht scharf faßbar ist, steht man von vornherein vor der Schwierigkeit, die sich bei Zuerkennung der plasmatischen Natur an eine Differenzierung im Zellinnern einstellt. Doch weist die Lokalisation wie auch die reversible Auflösung in Tröpfchen durch verschiedene Agentien darauf hin, daß die Strukturen nicht die Eigenschaften des wandständigen Protoplasmas haben können; eine Viskositätsänderung des letzteren zur Erklärung des Eintrittes der Bewegungserscheinungen heranzuziehen, geht nicht an, weil dann auch die übrigen Protoplasmaeinschlüsse, z. B. die Chloroplasten, an dieser Bewegung sich beteiligen müßten, wie dies für die im Anhang beschriebenen Veränderungen an Vauduria zutrifft. Bei Funaria aber bleiben die Chloroplasten in Ruhe, eine vibrierende Bewegung derselben ließ sich während der ganzen, überaus zahlreichen Untersuchungen nur äußerst selten (S. 114) sicherstellen und dürfte, wie in einem Falle zweifellos festgestellt wurde, darauf zurückzuführen sein, daß ein durch den beginnenden Zerfall entstandenes, mit einem Ende noch am Chloroplasten festhaftendes Fadenstück durch seine lebhafte Bewegung denselben in Mitschwingung versetzt. Jedenfalls ist die Annahme einer plasmatischen Natur der Funariafäden durchaus nicht zwingend und ihre mannigfachen Bewegungen und Formveränderungen in intakten Zellen könnten auch, wie

gleich im folgenden besprochen werden soll, aus der Analogie mit gewissen leblosen Gebilden heraus gedeutet werden. Deshalb wurde auch überall im Vorhergegangenen der Ausdruck »plasmatische« Differenzierungen umgangen.

An die bei Funaria und Fontinalis eingehend studierten Vorgänge der Auflösung der Fäden und Netze in mikroskopisch sichtbare Tröpfchen seien noch einige Betrachtungen angeknüpft, wie eine solche »Emulgierung« zustande kommen könnte. Verschiedene Möglichkeiten sind selbst für die Wirkungsweise eines Stoffes denkbar, die sich gegenseitig durchaus nicht ausschließen brauchen, und den mit verschiedenen Stoffen erzielbaren, mikroskopisch recht gleichartig aussehenden Vorgängen können verschiedene Mechanismen zugrunde liegen.

Zunächst tritt die Frage auf, ob die Substanz der Tröpfchen mit der der Fäden chemisch identisch ist oder nicht. Chemische Vorgänge können bei der großen Affinität verbreiteter Zellstoffe wie der Proteïne und Lezithine zu sehr verschiedenen Stoffen wohl kaum ausgeschlossen werden, und an solche Vorgänge wäre besonders bei den für beide Moose als Emulgierungsmittel geeigneten Alkaloiden, sowie dem Ammoniak und seinen Derivaten zu denken. Mit den übrigen untersuchten Stoffen (siehe Tabelle I, S. 124) ließ sich bei Fontinalis keine Auflösung in Tröpfchen erzielen, wohl aber bei Funaria mit den meisten von ihnen. Dieses unterschiedliche Verhalten weist entweder auf eine chemisch differente Zusammensetzung dieser Zellkontenta, oder auf Unterschiede im Mengenverhältnis sonst gleicher an dem Aufbau dieser Strukturen beteiligter Stoffe hin. Den Fadenknäueln von Fontinalis scheint ein höherer Lipoidgehalt eigen zu sein, während die Funarianetze als wasserreichere Gebilde anzusprechen sein dürften. — Doch lassen sich mit einiger Wahrscheinlichkeit tiefgreifende chemische Veränderungen wegen der leichten und völligen Wiederherstellbarkeit der ursprünglichen Strukturen aus den Tröpfchen wohl ausscheiden. Andererseits müssen auch die physikalischen Eigenschaften der applizierten Agentien entsprechende Beachtung finden. Die meisten der wirksam befundenen Stoffe sind gut lipoidlöslich, und unter der nicht unwahrscheinlichen Voraus-

setzung, daß auch Lipoide an der Zusammensetzung der in Frage stehenden Zellkontenta von Funaria teilnehmen, könnte es durch Verschiedenheiten in der Löslichkeit der diese Gebilde aufbauenden Phasen zu einer Trennung derselben kommen. Die überaus zahlreichen mikroskopischen Beobachtungen lassen mich der Anschauung zuneigen, daß die Fäden restlos in der Bildung von Tröpfchen aufgehen, und falls diese Beobachtung richtig ist, hätten solche Entmischungserscheinungen eine Verschiedenheit der Tröpfchen hinsichtlich ihrer stofflichen Eigenschaften zur Folge, wofür die mikroskopische Beobachtung allerdings keinen Anhaltspunkt bot. Auch möchte man erwarten, daß solche zu einer Entmischung führenden Änderungen der Struktur der Fäden zunächst in einem dem Zerfall in Tröpfchen vorangehenden Körnigwerden der vordem homogenen Fäden sich äußern müßte. Die gelegentlich beobachtete Annahme einer körnigen Struktur möchte ich, wie schon oben bemerkt wurde, nicht als ein wichtiges Zwischenglied in der Folge der zur Emulgierung führenden Veränderungen betrachten. v. Prowazek[1] und Moldowan[2] schlossen aus ihren Untersuchungen über die Wirkung von Chininsalzen auf den Protistenleib auf eine tropfige Entmischung des Protoplasmas; den auftretenden stark lichtbrechenden Tröpfchen dürfte nach den Färbungsergebnissen Lipoidnatur zukommen; doch sind diese Eingriffe irreversibel. In meinem Falle spricht wiederum die rasch und vollständig eintretende Regenerierung der Fadenbildungen nach Entfernung des wirksamen Agens dafür, daß eine tiefgreifende Zerstörung der kolloidalen Struktur dieser Gebilde nicht stattgefunden haben kann[3]. Diese leicht bewirkbare Reversibilität

[1]) Giemsa, G., u. v. Prowazek, S., Wirkung des Chinins auf die Protistenzelle. Verh. d. deutsch. tropenmediz. Ges. 1. Tagung. 1908. 88.

v. Prowazek, S., Giftwirkung und Protozoënplasma. Arch. f. Protistenkunde. 1910. **18**, 221.

v. Prowazek, S., Einführung in die Physiologie der Einzelligen (Protozoën). Berlin 1910.

[2]) Moldowan, J., Untersuchungen über die Wirkungsweise des Chinins. Biochem. Zeitschr. 1912. **47**, 421.

[3]) In geschädigten und in toten Zellen gelang mir die Emulgierung mit den sonst rasch wirkenden Mitteln nicht; in solchen Zellen sind oft starke Veränderungen der Fadensubstanz hinsichtlich ihrer für den Zerfall in Tröpfchen in Betracht kommenden Eigenschaften anzunehmen.

legt aber noch weiterhin die Möglichkeit nahe, daß hier in besonderem Grade Adsorptionsphänomena im Spiel sein könnten. So wie Unterschiede in der Löslichkeit der die Strukturen zusammensetzenden Stoffe gegenüber lipoidlöslichen Agentien zu Entmischungserscheinungen führen könnten, so wären solche auch durch ein verschiedenes Verhalten derselben hinsichtlich ihrer Quellbarkeit wohl denkbar; vielleicht könnten manche Beobachtungen (Bildung breiter bandartiger Streifen, Ausbiegen vordem gerader Fäden durch 1% Äthylalkohol S. 115) auf solche Vorgänge hindeuten. Noch ein anderer Umstand weist auf die große Rolle der kapillar-chemischen Erscheinungen hin. Die meisten der den Zerfall der Funariastrukturen in Tröpfchen am stärksten fördernden Stoffe erniedrigen bedeutend die Oberflächenspannung des Wassers. Leider konnten bei der angewandten Methode nicht genaue Konzentrationswerte für die einzelnen Stoffe eruiert werden. Doch muß bei den stark kapillaraktiven Alkoholen, sowie bei Aceton u. a. der hohe Wirkungsgrad auffallen, und besonders deutlich erscheint mir eine Beziehung zwischen Oberflächenaktivität und Wirksamkeit bei den Fettsäuren zu bestehen, bei denen beide Eigenschaften in den höheren Gliedern zunehmen; daß die Zerfallsprozesse nur bei den höchsten untersuchten Gliedern bis zum Endstadium, dem Zerfall in tanzende Tröpfchen, fortschreiten, dürfte an der schließlich sich in einer Schädigung der Zellen bemerkbar machenden Wirkung des H-ions liegen. Auch die im Mikroskop beobachtete Auflösung der Fäden in Tröpfchen, also eine Oberflächenvergrößerung, deutet auf die Herabsetzung der Grenzflächenspannung dieser Gebilde; aber nicht nur der Zerfall in Tröpfchen, auch die zu ihm führenden Zwischenstufen, und das Auftreten anderer im Vorangehenden geschilderten Formen (breite, bandartige Streifen, myelinartige Bildungen), die sämtlich eine größere Oberfläche im Vergleich zu den ursprünglichen Gebilden aufweisen, fallen unter diesen letzterwähnten Gesichtspunkt. Hierdurch bewirkte Veränderungen der Kolloide könnten die Oberfläche dieser Strukturen so alterieren, daß es zu einem Abheben der an der Vakuolenhaut haftenden Fäden kommt; bei Cyathophorum könnten so die den Fäden aufsitzenden Fettröpfchen abgesetzt werden.

Danach hätten wir in der Auflösung der Fäden in Tröpf-

chen, einer Erhöhung des »Dispersitätsgrades«, eine Erscheinung zu erblicken, die sich gut mit dem Aufflocken oder Emulgieren gefällter Kolloide vergleichen ließe; bei Entfernung des suspendierenden Stoffes käme es wieder zu einer Ausfällung des »Kolloids«, welches sich an der Vakuolenhaut absetzt. Das ausgeflockte »Kolloid« nimmt Netzform an, ein Vorgang, der ebenfalls nicht ohne Analogie in der Kolloidchemie ist; A. Mayer[1] verfolgte mit Hilfe des Ultramikroskops den Übergang von Hydrosolen in Hydrogele an organischen Kolloiden, die verschiedenen Phasen der Koagulation im Blutplasma durch $CaCl_2$ und beobachtete, daß die auftretenden ultramikroskopischen Körnchen zu Ketten und unter Abnahme ihrer Beweglichkeit zu Netzwerken zusammentreten, welche Vorgänge in manchen Fällen reversibel sind. Die Bildung eines Netzes deutet eben nur auf die Existenz gewisser Spannungserscheinungen hin, und daß sich solche in der Fadensubstanz beobachten lassen, wurde schon früher S. 121 ff. mitgeteilt. Vielleicht steht zu solchen auch die nicht selten bemerkbare Einstellung der Chloroplasten in die Richtung der Fäden in irgendeiner Beziehung, jedenfalls läßt sich die nach dem Vorhergegangenen unhaltbare Vorstellung, daß die Chloroplasten durch die Fäden wie auf einer Kette aufgefädelt sind, durch andere ersetzen. Hier sei ferner darauf hingewiesen, daß die Fäden auch unabhängig von den spitzen Enden der Chloroplasten an einer beliebigen Stelle ihres Körpers ansetzen können.

Aber noch weitere Tatsachen der Kolloidchemie lassen sich zur Beschreibung unseres Falles vergleichsweise heranziehen. Bekanntlich gelingt die Emulgierung eines freie Fettsäure enthaltenden Öles, wie Gad[2] gezeigt hat, durch bloßen Zusatz von Alkali, ohne Anwendung mechanischer Kräfte. Diese kommt nach Brücke[3] durch die Bewegungen der auf Alkalizusatz sich bildenden Myelinformen zustande; an den Enden

[1]) Mayer, A., Etudes ultramicroscopiques. Compt. rend. soc. biol. 1907. **2**, 44, 184, 553, 658.

[2]) Gad, Joh., Zur Lehre von der Fettresorption. E. du Bois-Reymond's Archiv f. Physiol. 1878. 181.

[3]) Brücke, E., Über den Zusammenhang zwischen der freiwilligen Emulgierung der Öle und dem Entstehen sogen. Myelinformen. Sitzber. Wien. Akad. III. 1879. **79**, 267.

dieser Bildungen läßt sich die Abschnürung von Tropfen beobachten, die Myelinformen erscheinen gewissermaßen als das Vorstadium der Emulgierung. Ist auch das Zustandekommen der Myelinformen noch nicht ganz geklärt, soviel ist sicher, daß die auf den Alkalizusatz aus den im Fett enthaltenen freien Fettsäuren gebildete Seife hauptsächlich durch ihre Oberflächenaktivität wirkt, wozu noch Lösungsvorgänge u. a. treten[1], Ähnliche an derartige Myelinformen lebhaft erinnernde, in mannigfacher Bewegung begriffene Bildungen entstehen aber auch aus den Funariafäden z. B. auf Zusatz von 1 % Äthylalkohol (siehe S. 116), der auch schon in dieser Verdünnung das Schleifen- und Ringstadium hervorruft, aber erst in höheren Konzentrationen (5,10 %) das Endglied dieser Veränderungen die Auflösung in Tröpfchen herbeiführt; also auch hier läßt sich durch niedrige Konzentrationen eines wirksamen Stoffes ein der weiteren »Emulgierung« vorangehendes Stadium von myelinartigen Bildungen feststellen.

Für die nun folgende Betrachtung ist der Umstand von großer Bedeutung, daß manchmal, wenn auch selten, schon in den intakten Zellen von Funaria, aber auch bei Fontinalis, Hookeria, vermutlich auch bei anderen Moosen, die von den Emulgierungsvorgängen her bekannten Zwischenstadien anzutreffen sind, so die eben erwähnten, ihre Form unaufhörlich ändernden Myelinformen, ferner Ringe und Schleifen in Bewegung, die sonst nur auf Zusatz gewisser vordem (S. 124) aufgezählter Stoffe entstehen. Man muß daher annehmen, daß solche in der gleichen Weise wirksamen Stoffe auch während des normalen Lebens der Zelle im Zellsaft gegenwärtig sind und dieses verhältnismäßig schon vorgeschrittene Stadium bewirken. Das Vorkommen derartiger Stoffe im Zellsaft läßt sich nur durch Sekretionsvorgänge aus dem Plasma verstehen; am einfachsten ist die Vorstellung, daß der wirksame Stoff schon im Plasma gebildet und durch die Vakuolenhaut an den Zellsaft abgegeben wurde. Sind nun derartige diosmotische Vorgänge ausschließlich nur auf seltene Ausnahmsfälle unter den gleichartigen Zellen eines Funariablattes beschränkt? Am wahrscheinlichsten ist es, daß es sich hier um ganz allgemeine

[1]) Freundlich, M., Kapillarchemie. Leipzig 1909. 473.

Vorgänge handelt, die für die verschiedenen Zellen eines Blattes nur quantitative Unterschiede aufweisen, indem sich diese Stoffe nur in gewissen extremen Fällen eben in solcher Konzentration anhäufen, daß es zur Bildung von Ringen und Schleifen kommen kann. Dann aber würden auch die mannigfachen unaufhörlichen Veränderungen der Form, Lage und Sichtbarkeit der Netzstrukturen in intakten Zellen mit einemmal verständlich, da sie der Innenseite der Vakuolenhaut anliegend, am meisten den Alterationen eines wirksamen, eventuell oberflächenaktiven, diese Membran passierenden Stoffes unterworfen sein müßten, zumal für diese Diosmose lokale Unterschiede in der Menge des durchgetretenen Stoffes wahrscheinlich sind[1].

Verhalten der Fadenstrukturen von Funaria bei Belichtung.

Merkwürdig sind auch die Veränderungen, welche die Filargebilde in Funariazellen erfahren, wenn man längere Zeit im Dunkeln gehaltene Blätter in das Licht einer Auerlampe oder in diffuses Tageslicht bringt. Im folgenden Versuche wurde das 24 Stunden im Dunkeln befindliche Präparat eines Funariablattes in das von einer Auerlampe beleuchtete Mikroskop eingestellt, sofort beobachtet und die hier beschriebenen, rasch sich abspielenden Veränderungen der Fadenstrukturen in einer der Blattmitte angehörigen Zelle — so gut es ging — mit der Zeichenkamera skizziert.

Beim Herausnehmen aus dem Dunkeln waren sämtliche Chloroplasten in Apostrophe, die freie Flächenwand war von einem ziemlich regelmäßigen Netzwerk überspannt, welches durch einige Minuten seine Gestalt fast gar nicht änderte. Dann aber beginnt es stellenweise undeutlich zu werden und verschwindet plötzlich fast ganz; an seinerstatt gewahrt man, wie allmählich schwer sichtbare, bandartige, gerade, nicht selten sich überkreuzende Streifen mit verschwommenen Konturen auftreten; daneben erscheinen größere Tropfen in Brownscher Molekularbewegung, die immer mehr an Zahl und auch an Größe zunehmen, während das Streifensystem allmählich ver-

[1]) Im Anschluß an dieses Kapitel sei auch an die Analogien zwischen Myelinformen und Chondriosomen erinnert, auf welche jüngst A. M. Löwschin (Ber. d. d. bot. Ges. 1913. 203) hingewiesen hat.

schwindet. Die Tropfen ändern oft ihre Gestalt, werden oval, erhalten kolbenartige Auswüchse, es treten Gebilde auf, die an Myelinformen lebhaft erinnern. Manche von diesen Tropfen erscheinen wie vakuolisiert; an einem derartigen Tropfen konnte ich direkt den Übergang in einen Ring feststellen. Letztere, wie auch Schleifen- und Hufeisenformen in Bewegung bilden sich dann aus diesem allmählich schwindenden »Tropfenstadium« heraus, es treten wieder scharf konturierte, deutlich sichtbare Fäden und Netze auf, die anfänglich noch in Bewegung, allmählich wieder zur Ruhe kommen und dann nur mehr die S. 104 beschriebenen lebhaften Formveränderungen aufweisen. Diese ganzen Veränderungen beanspruchten den Zeitraum ca. einer Stunde, ihr erster Teil bis zum Wiederauftreten deutlicher Fäden ungefähr eine halbe Stunde. Sie haben eine verblüffende Ähnlichkeit mit jenen, die mit 1 % Alkohol (S. 115) erzielt wurden; in anderen Fällen erfolgte ein Zerfall der Strukturen in spirillenartig sich bewegende Fadenstücke, ja manchmal zerfielen die Strukturen bei Belichtung sogar in wimmelnde Körnchenmassen, die neben den Ringen und Schleifen zu sehen waren.

Linsbauer und Abranowicz (l. c. S. 34) beschreiben für Funaria lebhafte, im Plasma vor sich gehende Veränderungen, wenn man ein im Wasser liegendes Blättchen, welches einer im Dunkeln oder in sehr schwachem Lichte kultivierten Pflanze entstammt, in hellem, diffusen Tageslicht untersucht. »In günstigen Fällen sieht man namentlich in den großen Zellen der basalen Blatthälfte in manchen Zellen schon nach 5 bis 10 Minuten ein plasmatisches, ungemein zartes Netzwerk an den Außenwänden der Zellen auftreten, das in kontinuierlicher Bewegung begriffen ist.« Diese Angabe fügt sich sehr gut zum zweiten Teil meiner eben geschilderten Beobachtungen, der Wiederbildung des Netzes.

Die bei Belichtung eintretenden Veränderungen gleichen also in ihrem Verlaufe völlig den durch das Eindringen chemischer Agentien in die lebende Zelle erzielbaren Vorgängen, und die bei längerer Belichtung sich einstellende Wiederbildung eines normalen Netzes findet ihr Gegenstück in der öfter beobachteten beginnenden Rückbildung der durch chemische Mittel zerfallenen Fäden noch in Gegenwart des wirksamen Stoffes.

In Fortsetzung der auf S. 135 entwickelten Vorstellungen können wir die hier mitgeteilten Beobachtungen so deuten, daß bei Belichtung der so wirksame Stoff im Zellsaft in größerer Menge vorhanden ist, was wieder auf Steigerung der Sekretionsvorgänge im Lichte hinweisen würde; und daß die innere Plasmahaut im Lichte eine Permeabilitätssteigerung erfahren könnte, wäre nichts Ungewöhnliches, nachdem die Untersuchungen Tröndles[1] gezeigt haben, daß bei Belichtung die Plasmahaut für gewisse Stoffe permeabler wird. Bei Funaria würde also der angenommene wirksame Stoff im Lichte reichlicher aus dem Plasma in den Zellsaft ausgeschieden werden. Da aber im weiteren Verlaufe die Netzstrukturen trotz andauernder Belichtung wiedergebildet werden, so muß auch auf irgendeine Art das Verschwinden oder Unwirksamwerden dieses im Zellsaft angehäuften Stoffes erzielt werden.

Bedeutung der Fadenstrukturen in den Blattzellen von Funaria für die Chloroplastenverlagerung.

Bezüglich des Mechanismus der Chloroplastenbewegung sind drei Möglichkeiten denkbar, entweder bewegen sich die Chloroplasten aktiv oder sie werden passiv durch das Plasma fortbewegt, endlich könnten beide Motionsarten an der Lageveränderung der Chloroplasten teilhaben. Alle drei Annahmen fanden ihre Vertreter, doch sollen nur jene besprochen werden, die gleichzeitig die Fadenbildungen in den Funariazellen in irgendeine Beziehung zur Chloroplastenverschiebung bringen. Den ersten Standpunkt nahm Senn (l. c. S. 294 ff.) ein, er faßte die fädigen Gebilde von Funaria als den Chloroplasten zugehörige »Peristromialpseudopodien« auf, mit Hilfe derer sie auf der äußeren Hautschicht als ruhender Unterlage kriechen sollten. Dadurch lenkte er als erster die Aufmerksamkeit auf ihre eventuelle Bedeutung für die Fortbewegung der Chloroplasten. Knoll (l. c. S. 1236) gelangte zu der Ansicht, »daß die plasmatischen Netze als Bildungen eigener Art im Cytoplasma auftreten, welche zum Zwecke der Chloroplastenverlagerung mit der Rückenfläche der Chloroplasten in feste Verbindung treten«

[1]) Tröndle, A., Einfluß des Lichtes auf die Permeabilität der Plasmahaut. Jahrb. f. wiss. Bot. 1910. **48**, 171.

und nähert sich dadurch der zweitgenannten Möglichkeit; die Chloroplasten könnten höchstens den Reiz perzipieren und dem nach Art der kinoplasmatischen Stränge wirkenden Plasmanetz zuführen, welches dann die motorische Phase einleiten würde. Die dritte gewissermaßen vermittelnde Stellung nehmen Linsbauer[1] und Abranowicz (l. c. S. 156ff.) ein, sie fassen die Verlagerungen der Hauptsache nach als passiv hervorgerufen durch das Plasma als bewegungstätiges Agens auf, während auch geringfügige amöboide Gestaltsveränderungen der Chloroplasten für die Verschiebung nicht völlig bedeutungslos sein dürften; die Plasmastränge sollen die Bahnen sein, in denen die Chloroplasten durch die Bewegungstätigkeit des Plasmas langsam dahingleiten. — Trotz der verschiedenen Vorstellungen bezüglich der Art der Mechanik der Chloroplastenverlagerung halten alle genannten Autoren an einem ursächlichen Zusammenhang zwischen dem Verhalten der Plasmanetze und der Chloroplastenbewegung fest.

Auf Grund der nun folgenden Versuche erscheint mir ein solcher nicht annehmbar; damit wird aber keine der drei obengenannten möglichen Vorstellungen über den Mechanismus der Chloroplastenverlagerung in ihrer allgemeinen Fassung tangiert, weil er ja durchaus nicht in einer morphologischen Differenzierung sinnfällig werden braucht. Andererseits gibt es viele Pflanzen, deren Chloroplasten ebenfalls verlagern, ohne daß derartige Strukturen in den Zellen sichtbar wären.

Schon im Vorangegangenen sind einige Momente angeführt, die nicht zugunsten der herrschenden Auffassung von der Bedeutung der Funariafäden sprechen. Es konnte mit großer Wahrscheinlichkeit gezeigt werden, daß sie außerhalb des wandständigen Plasmas der Zellsaftseite der Vakuolenhaut anliegen; auch ist die plasmatische Natur dieser Strukturen nicht streng erwiesen. Auch ich kann nach meinen Beobachtungen der Meinung Senns, es handle sich um pseudopodiale Fortsätze des Peristromiums, nicht beipflichten, gegen welche sich die späteren Autoren[2] bereits ausgesprochen haben; sehr häufig kann man beob-

[1]) Linsbauer, K., auch in dieser Zeitschrift. 1910. **2**, 129.

[2]) Hinsichtlich der Systrophe kommt auch E. Küster (Flora. 1910. **100**, 267) zu einer gegensätzlichen Anschauung.

achten, daß die fädigen Stränge nicht vom Rande des Chloroplasten ausgehen, sondern die Chloroplasten untersetzen, um auf ihrer Rückenseite zu endigen oder häufiger, um hier mit andern Strängen durch einfache Anastomosen oder durch Vermittlung einiger Maschen in Verbindung zu treten. Weiteres kann ich in völliger Übereinstimmung mit Knoll, die Beobachtung Senns, daß die von Chloroplasten freien Flächenwände (bei Apostrophe) auch stets frei von Netzstrukturen sind, nicht bestätigen; nicht gerade selten werden die Flächenwände bei Apostrophe der Chloroplasten ganz oder teilweise von Netzstrukturen überspannt, wie es Fig. 13, Taf. I zeigt. In der Regel aber erscheinen die Flächenwände fast oder ganz frei von Fäden und Netzen; manchmal gelingt es, sie an den von den apostrophierten Chloroplasten bedeckten Fugenwänden sicherzustellen, wie Senn und Knoll ebenfalls angeben. — Aber auch den abweichenden Auffassungen Knolls und Linsbauers vermag ich mich nicht anzuschließen; wenn Knoll in den Strängen kinoplasmatische Zugorgane, Linsbauer die Bahnen erblickt, in denen die Chloroplasten gleiten, so verträgt sich damit, wie ich glaube, nicht die überaus große Labilität der Form, Lage und Sichtbarkeit dieser Stränge (S. 104) im Verhältnis zu der weit geringeren Ortsveränderung der Chloroplasten. Auch vermag ich nicht einen ursächlichen Zusammenhang der unaufhörlichen Veränderungen der Filarstrukturen mit der Chloroplastenverlagerung aus meinen zahlreichen Beobachtungen über diesen Punkt herauszulesen. Während die Bahnen der verlagernden Chloroplasten mehr weniger gerade von der Flächen- zur Fugenwand oder umgekehrt verlaufen, läßt die unaufhörliche lebhafte Umformung der Netze keine solche Gesetzmäßigkeit erkennen, daß man aus ihr die relativ viel einfachere Bewegung der Chloroplasten ableiten könnte. Wenn eine derartige Beziehung, die sich aus der morphologischen Gestaltung der Stränge ersehen ließe, bestände, dann müßte es möglich sein, in den meisten Fällen aus dem jeweiligen Bild der Strukturen die sich ergebende Bewegung der Chloroplasten vorauszubestimmen; dies gelang mir aber in zu wenigen Fällen, als daß nicht das Spiel des Zufalls ausgeschlossen wäre. Im speziellen kann man verlagernde Chloroplasten verfolgen, ohne daß in ihrer Um-

gebung Fäden zur Beobachtung gelangen würden. Da nun die Sichtbarkeit und Deutlichkeit der Stränge sehr variiert, könnte man einwenden, daß die Strukturen in diesen Fällen unsichtbar blieben; damit ist aber ein neues Moment gegeben, durch welches die ursprüngliche Auffassung, die intra vitam sichtbare Strukturen als Bewegungsorgane anspricht, auf ein Gebiet übertritt, wo die morphologische Betrachtung, aus der sie herausgewachsen ist, nicht mehr zur Kontrolle ausreicht. Andererseits kann man Chloroplasten auffinden, die bei nicht allzulanger Beobachtungszeit ihre Stellung zueinander gar nicht wahrnehmbar ändern, während die zwischen ihnen ausgebreiteten Netzstrukturen lebhafte Umgestaltungen erfahren haben. Endlich trifft man besonders in den basalen Blattzellen nicht selten gerade in jenem Teil der Zelle die Strukturen am reichlichsten ausgebildet, wo nur spärliche Chloroplasten vorhanden sind, und umgekehrt.

Wie im vorletzten Abschnitt S. 112 ff. mitgeteilt wurde, können die Fäden durch verschiedene Mittel zum Zerfall in Tröpfchen in lebhafter Brownscher Molekularbewegung gebracht und bei Beseitigung dieses Mittels durch Auswaschen wieder in anderer Form rückgebildet werden. Dadurch ist eine Möglichkeit gegeben, ihre Bedeutung für die Chloroplastenbewegung experimentell zu prüfen. Zunächst bildete folgende Überlegung den Ausgangspunkt eines Versuches. Sei es, daß die fraglichen Strukturen ein Bewegungsorgan der Chloroplasten darstellen, sei es, daß sie die Bahnen für ihre Fortbewegung bilden, in jedem Falle muß man zu der Vorstellung gelangen, daß sie durch gewisse richtende Kräfte in ihrem Aufbau in gesetzmäßiger Weise eben zur Ausführung der ihnen zugedachten Rolle befähigt werden, daß also ihre Funktion eine gewisse Komplikation ihrer Struktur zur Folge hat. Bringt man nun die Netze durch irgendein Mittel zur Auflösung in Tröpfchen, die durch die Brownsche Molekularbewegung sicherlich gut durcheinandergerührt werden, und durch Entfernung dieses Mittels Netze, jedoch anderer Form, zur Wiederausbildung, so ist es sehr unwahrscheinlich, daß die durcheinander gewirbelten Elemente wieder zu einem funktionstüchtigen Organ zusammentreten, daß ferner die rückgebildeten Stränge wieder in richtiger

Weise an die Chloroplasten herantreten, so daß diese in normaler Weise verlagern. Daß sich die Chloroplastenbewegung aber trotz vorangegangener Umbildung der Netze normal vollzieht, zeigt der Verlauf folgenden Versuchs, die Zählungen der an der Flächenwand jeweilig befindlichen Chloroplasten wurden an der Hand von Zeichnungen durchgeführt. Die mir zur Verfügung stehende Funaria war sehr üppig entwickelt und reagierte auf Lichtänderungen, wenigstens zu der in den Versuchen mitgeteilten Jahreszeit, in ausgezeichneter Weise.

Versuch vom 18. XII. 1912.

Ein Blatt, dessen Chloroplasten nahezu in Epistrophe sich befanden, wurde um 12 Uhr mittags mit 10 % Aceton durch 5 Min. behandelt, was den Zerfall der Fadenstrukturen in tanzende Tröpfchen zur Folge hatte; sodann wurde gründlich ausgewaschen, das Präparat bis 2 Uhr im Lichte belassen; an der Flächenwand einer Zelle lagen 42 Chloroplasten. Die bis 5 Uhr währende Verdunklung bewirkte fast vollständige Apostrophe, nur 5 Chloroplasten befanden sich noch am Rande der Flächenwand, an der nicht wenige Fäden sichtbar waren. Während der zur Zeichnung nötigen Zeit von 20 Min. bewegten sich die Chloroplasten bereits deutlich wieder zur Flächenwand.

Das nicht vorbehandelte Kontrollblatt wies in einer Zelle vor der um 2 Uhr erfolgten Verdunklung 50 der Flächenwand anliegende Chloroplasten auf, die um 5 Uhr fast sämtlich die Fugenwandstellung innehatten. Nach 20 Min. Beleuchtung traten sie schon wieder die Rückbewegung an.

Vorhergegangene Auflösung der Filarstrukturen in Tröpfchen mit Brownscher Molekularbewegung ändert nichts an der normalen Verlagerung der Chloroplasten auf Lichtreize hin.

Weiter wurden Versuche gemacht, ob sich Chloroplastenverlagerungen auf Beleuchtungswechsel hin auch dann feststellen lassen, wenn die tröpfchenförmige Auflösung der Fäden dauernd erhalten wird. Da nun auch unter diesen Umständen die Chloroplasten entsprechend den Lichtverhältnissen umlagern, erscheinen mir besonders diese Versuche ein schwerwiegender Beweis dafür zu sein, daß die Chloroplastenbewegung an das nach der bisherigen Auffassung mit ihr ursächlich verknüpfte Vorhandensein der Fadenstrukturen nicht gebunden ist. Aus mehreren über diesen Gegenstand angestellten Versuchen seien folgende herausgegriffen.

Ständige Beobachtung von etwa wieder auftretenden Fäden

war nur an den aus dem Dunkeln ans Licht gebrachten Präparaten leicht möglich, aber auch die im verdunkelten Blatt sich wiederbildenden Fadenstrukturen blieben infolge der ununterbrochenen Durchleitung einer niederen und der zeitweiligen Durchspülung einer höheren Konzentration des betreffenden wirksamen Stoffes in ständiger Bewegung und konnten demnach in diesem Zustande die ihnen zugesprochene Funktion nicht ausüben.

Versuch vom 19. XII. 1912.

Ein längere Zeit verdunkeltes Blatt, dessen Chloroplasten aus der anfänglichen völligen Apostrophe zum Teil wiederum an die Flächenwände sich begeben hatten, wurde 5^{30} belichtet; schon nach 2 Min. Einwirkung von 10 % Aceton waren die Fäden vollständig in tanzende Tröpfchen zerfallen; sodann wurde ständig 2 % Aceton durchgeleitet, ohne jedoch die von Zeit zu Zeit auftretende Fadenbildung verhindern zu können; sobald solche zum Vorschein kam, wurden sofort einige Tropfen 10 % Aceton bis zum neuerlichen völligen Zerfalle durchgeleitet (ungefähr alle 10—20 Min.). An den oberen Flächenwänden zweier einander benachbarter Zellen wurden

nach der Verdunklung . . . . . 37 bzw. 18 Chloroplasten
nach 2¼stündiger Beleuchtung . . 52 bzw. 33 „

gezählt.

1. Versuch vom 2. I. 1913.

Die um 11^{59} beendete Zeichnung einer Funariazelle, in welcher die Fäden unter der seit 11^{52} eingeleiteten Behandlung mit 10 % Alkohol sich in Tröpfchen aufgelöst hatten, ergab 48 Chloroplasten an der Flächenwand. Um 12 Uhr mittags wurde verdunkelt und für eine konstante Durchspülung des Präparates mit 5 % Alkohol gesorgt. Um 3^{30} wurde das Blatt ans Licht gebracht, die Zelle gezeichnet; zum Teil waren noch Tröpfchen in Brownscher Molekularbewegung sichtbar, meist hatten sich aber schon Ringe und Schleifen in Bewegung gebildet; die Zahl der an der Flächenwand liegenden Chloroplasten betrug nur mehr 34.

2. Versuch vom 2. I. 1913.

Ein vordem verdunkeltes Blatt wurde 5^{30} ans Licht gebracht; nur 2 Chloroplasten waren mitten auf der Fläche, 8 am Rande derselben, alle übrigen an den Fugenwänden. Von 5^{30} ab wurde konstant 5 %, zeitweilig 10 % Alkohol durchgeleitet. Die tropfige Auflösung trat in wenigen Minuten ein, nur ein dickerer Querstrang trotzte dem vollständigen Zerfalle; während des Versuches traten auch von Zeit zu Zeit wieder Ringe und Schleifen in zitternder bzw. wallender Bewegung auf.

Um 7^{10} 20 Chloroplasten an der oberen Flächenwand,
„ 10 Uhr 29 „ „ „ „ „

In sämtlichen Versuchen verlagerten demnach die Chloroplasten im Sinne der Reizänderung, ohne jedoch

die angestrebte Endstellung, vollkommene Apostrophe bzw. Epistrophe, zu erreichen, was jedoch bei den Versuchsbedingungen (Gegenwart von Narkoticis) nicht zu erwarten ist.

Nachdem die bisherigen Hypothesen über den Mechanismus der Chloroplastenverlagerung abgelehnt werden mußten, möchte ich hier noch meine diesbezüglichen Vorstellungen, die sich auf den S. 135 ff. und S. 138 erörterten aufbauen, anschließen.

Nach den dort mitgeteilten Vorstellungen, die auf der großen Analogie der an den Funariafäden mit verschiedenen Mitteln erzielbaren Veränderungen mit Tatsachen der Kolloidchemie, sowie auf der völligen Übereinstimmung der ersteren mit dem Verhalten bei Belichtung beruhen, hätten wir in den Änderungen der Netzstrukturen gewissermaßen ein empfindliches Reagens auf einen durch die Vakuolenhaut permeiierenden, all diese Veränderungen bewirkenden Stoff zu erblicken. Daß es sich dabei um einen oberflächenaktiven Stoff handeln könnte, ist im Hinblick auf das S. 133 ff. Gesagte möglich, und diese Annahme liegt der nunmehr folgenden Betrachtung zugrunde. Die Sekretion dieses Stoffes in die Zellsaftvakuole soll bei Belichtung eine Steigerung erfahren in Analogie mit den Ergebnissen Tröndles, der eine Erhöhung der Permeabilität der Plasmahaut für gewisse Stoffe durch das Licht fand. Im Anschluß an seine Resultate hätte man auch in unserem Falle eine gesetzmäßige Abhängigkeit der die Sekretion unseres hypothetischen Stoffes beeinflussenden Permeabilitätsänderung von der Lichtintensität zu erwarten; so hätte die Permeabilitätserhöhung für eine bestimmte Lichtmenge ein Optimum, um bei weiterer Zunahme derselben wieder abzunehmen, während unterhalb des optimalen Punktes Lichtintensitäts- und Permeabilitätserhöhung symbat gehen. Die Sekretion des angenommenen oberflächenaktiven Stoffes in den Zellsaft muß zu einer Verarmung an diesem in der Vakuolenhaut führen; dann müßte aber die Grenzflächenspannung derselben zunehmen.

Das Zustandekommen der im diffusen Lichte erfolgenden Epistrophe der Chloroplasten könnte man sich nun in folgender Weise denken. Die geforderte Zunahme der Grenzflächenspannung wird verschiedene Werte aufweisen, je nach der

Größe der auffallenden Lichtmenge, denn diese regelt ja nach unserer Annahme die Quantität des ausgeschiedenen Stoffes. Unterhalb des Optimums gilt die Beziehung, daß die Grenzflächenspannung an der Stelle des größten Lichtgenusses am größten ist. Da nun die Flächenwände eines von unten beleuchteten Funariablattes von einer größeren Lichtmenge getroffen werden als die Fugenwände, so erhalten die den Flächenwänden parallelen, an den Saftraum grenzenden Plasmaschichten eine höhere Grenzflächenspannung als die mit den Fugenwänden gleichgerichteten Seitenwände der Vakuole. Infolge dieser differenten Grenzflächenspannungen kommt es zu langsamen Strömungen in den dem Zellsaft angrenzenden Plasmaschichten; in diesen Plasmaverschiebungen, die mit den sonst unter »Plasmaströmung« gemeinten Vorgängen nicht zusammenhängen brauchen, möchte ich das hauptsächlichste Vehikel für die Chloroplastenverlagerung erblicken. Die apostrophierten Chloroplasten eines aus dem Dunkeln in senkrecht zur Blattfläche auffallendes diffuses Licht gebrachten Blattes werden infolgedessen durch die von Orten geringerer zu solchen höherer Grenzflächenspannung gerichteten Plasmaströmungen, also gegen die Flächenwände fortgeführt. Das Eintreten der Epistrophe wäre in dieser Weise, aber auch ähnlich das der Antistrophe und Escharostrophe, an der Hand des Gesagten ohne weiteres vorstellbar. Auch die durch direktes Sonnenlicht bewirkbare Apostrophe läßt sich mit den gemachten Annahmen verstehen. An den direkt getroffenen Flächenwänden würde die bei intensiver Sonnenbestrahlung auffallende Lichtmenge, weil über dem Optimum gelegen, keine Permeabilitätserhöhung bewirken, wohl aber würde eine solche an den viel schwächer beleuchteten Fugenwänden erfolgen können; die Chloroplasten müßten sich dann an die letzteren als Orte höherer Grenzflächenspannung begeben.

Für die tatsächliche Existenz allmäliger Protoplasmaumlagerungen sprechen die Angaben von Frank, Noll und Senn, daß an den Stellen der Chloroplastenanhäufung auch das Protoplasma dicker sein kann; daß der Kern und tote Zellbestandteile an diesen Verlagerungen nicht teilnehmen, erscheint mir nicht als Gegenargument, weil die Plasmabewegung doch nur

eine partielle sein kann, während andere Plasmaschichten in Ruhe bleiben; zugunsten unserer Auffassung könnte auch der Umstand herangezogen werden, daß die bei Funaria der Vakuolenhaut anliegenden Fäden bei Apostrophe meist nicht mehr an der Flächenwand, wohl aber unter günstigen Verhältnissen an den Fugenwänden beobachtet werden können.

Der Einfluß der Vorbehandlung, die gegen den Sommer zu eintretende Stimmungsänderung (Abnahme der Lichtempfindlichkeit für die Permeabilitätserhöhung), das pendelartige Ausschwingen der Reaktionskurve, die Hemmung durch Narkose u. a., wie es die Untersuchungen von Tröndle ergaben, ließen sich mit Erfolg in ähnlicher Weise ebenfalls für die entsprechenden, aus den dargelegten Vorstellungen ableitbaren Verhältnisse bei der Chloroplastenverlagerung heranziehen. Leider sind die Untersuchungen über Beeinflussung der Permeabilität durch das Licht erst in ihren Anfängen und auch eine exakte quantitative Prüfung der Lichtwirkung, sowie chemischer Mittel auf die Chloroplastenverlagerung, wodurch vielleicht eine experimentelle Überprüfung unserer Hypothese noch am ehesten möglich wäre, ist noch nicht vorgenommen, als daß jetzt schon ein abgerundetes Bild des ganzen großen Tatsachenmaterials in der Frage der Chloroplastenbewegung, dessen Umfang aus Senns verdienstvollem Werke abgeschätzt werden kann, sich ergeben könnte. Dies gilt vor allem von der im Dunkeln eintretenden Apostrophe, die durch den lebenden Zellverband bedingt, sich einer vereinfachenden Vorstellung im Sinne unserer Hypothese, ohne weitere Annahmen machen zu müssen, vorläufig noch entzieht.

Anhang.

In diesem Abschnitte mögen die Untersuchungen Aufnahme finden, die an Vertretern anderer Pflanzengruppen ausschließlich der Moose, zum Zwecke der Vergleichung und Orientierung angestellt wurden, ob sich ähnliche Fadenbildungen, wie sie bei Laub- und Lebermoosen in großer Verbreitung nachgewiesen wurden, auch anderwärts finden, inwieweit für andere Pflanzengruppen angegebene Filarstrukturen mit den hier behandelten verwandt sind. Zur Erkennung und Charakterisierung derselben

diente die Behandlung mit Alkohol und Chinin. Die folgende Besprechung beschränkt sich nur auf jene Pflanzen, deren Untersuchung nach irgendeiner Richtung hin interessante Ergebnisse lieferte, die vielen andern Pflanzen, wo es mir nicht gelang, Fadenstrukturen aufzufinden, oder solche, bei denen keine positiven Befunde aufzuweisen waren, sind weggelassen.

Algen.

Vaucheria hamata.

In intakten Fäden der hauptsächlich untersuchten Vaucheria hamata, die nicht allzudicht mit Chloroplasten erfüllt sind, sieht man in den von ihnen frei gelassenen Zwischenräumen im plasmatischen Wandbeleg farblose Körnchen oder Tröpfchen verschiedener Größe, auch kurze Fäden, die manchesmal die bipolar zugespitzten Chloroplasten verbinden oder von deren Spitzen auszulaufen scheinen, aber oft auch beiderseits frei im Protoplasma liegen und mannigfache Gestalt aufweisen; seltener sieht man deutliche Netzwerke, die zwischen den Chloroplasten ausgespannt sind, auch in den Zellsaftraum übersetzende Fäden kommen gelegentlich zur Beobachtung. Sämtliche Inhaltsbestandteile des Plasmas befinden sich in einer langsamen, meist unschwer erkennbaren unregelmäßigen Protoplasmaströmung. Alle diese Gebilde ändern unablässig ihre Form und es sind zweifellos dieselben, welche Berthold[1] erwähnt und abbildet.

Die Einwirkung verschiedener Stoffe studierte ich an intakten Fäden, besonders aber an den Plasmaballen, welche die aus zerschnittenen Fäden heraustretenden Plasmapartien bilden und die schon oft nach verschiedenen Richtungen hin untersucht wurden. In reinem Wasser platzen jedoch die meisten dieser Ballen infolge ihres hohen Turgordruckes und der im Anfang noch nicht gefestigten Oberfläche. Um dies zu vermeiden, wurden die Vaucheriafäden in einen Tropfen einer physiologisch ausbalancierten Lösung — ich benutzte hierzu das van 't Hoffsche Salzgemisch in 0,1 Mol (bezogen auf Na Cl) Verdünnung, die dem Druck des Zellinnern nahezu isotonisch ist — zerschnitten und präpariert; in dieser Lösung waren nach 12 oder

[1]) Berthold, G., Studien zur Protoplasmamechanik. Leipzig 1886. 60.

24 Stunden noch fast sämtliche Ballen erhalten. Weil die Ballen gegen Druckschwankungen überaus empfindlich sind, müssen die auf ihre Wirkung zu prüfenden Stoffe gleichfalls der 0,1 Mol van 't Hoffschen Lösung zugesetzt werden.

Im Wandbeleg dieser Ballen sieht man die schon für die intakten Fäden beschriebenen farblosen Tröpfchen und die fädigen, des öfteren die Chloroplasten verbindenden Gebilde. Der Wandbeleg hat meist eine körnige, oft auch vakuolig-schaumige Struktur, nicht selten liegt der Wand ein gröberes, aus homogen erscheinenden farblosen Lamellen bestehendes Schaumwerk veränderlicher Form an, das verschieden tief gegen das Innere zu sich ausdehnt, ja den Ballen auch ganz erfüllen kann.

Setzt man intakten Vaucheria-Fäden eine Lösung der Chininbase oder Chininhydrochlorid in starker Verdünnung zu, so spielen sich fast momentan folgende Vorgänge im Fadeninnern ab. Die oben erwähnten Körnchen oder Tröpfchen treten in lebhafte Brownsche Molekularbewegung, die Fäden verschwinden und an ihrerstatt sieht man gleichfalls tanzende Tröpfchen, alsbald lassen aber auch die Chloroplasten und andere Plasmakontenta eine zitternde Bewegung erkennen, die man zweifellos ebenfalls als Molekularbewegung mit kleiner Amplitude ansprechen muß. Die Chloroplasten ändern oft dabei ihre Form, sie werden zunächst eckig, und viele von ihnen wenden dann infolge einer Drehung von 90° um ihre Längsachse ihre Schmalseite der Membran zu und man kann dann eine starke Einkrümmung an ihnen wahrnehmen. — Wäscht man rasch mit Wasser gründlich durch, gehen die eben geschilderten, rasch vollzogenen Veränderungen allmählich wieder zurück. Zunächst verlangsamt sich die Brownsche Molekularbewegung, die Körner, Chloroplasten und übrigen Plasmaeinschlüsse kommen langsam zur Ruhe, fädige Gebilde treten wieder auf, die eingekrümmten Chloroplasten strecken sich und drehen ihre Flächenseiten der Membran zu, und schließlich tritt wieder die eingangs erwähnte Protoplasmaströmung auf. Unter den gewählten Bedingungen sind diese Veränderungen also auch hier völlig reversibel. Bei längerer Einwirkung oder höherer Konzentration der Chininlösungen reißt die Vakuolenhaut, was man an dem plötzlichen Durcheinanderstürzen des ganzen Inhaltes erkennt.

Diese Veränderungen sind natürlich irreversibel. Chininbisulfat ist auch hier unwirksam.

Mit 5, 10, 15 % Alkohol und Äther in den verschiedensten Konzentrationen gelang es mir nicht, ähnliche Vorgänge wie die eben beschriebenen zu erzielen. Nur in einem Versuche traten auf Zusatz von 5 oder 10 % Aceton die Körner zu Netzen zusammen, die zwischen den Chloroplasten ausgespannt erschienen; bei nicht zu lang währender Einwirkung, die völlige Desorganisation nach sich zieht, zerfielen diese Netze auf Zusatz von Wasser momentan in tanzende Tröpfchen, die Chloroplasten traten in eine vibrierende Bewegung und es wurden auch mächtigere strömende Bewegungen im Protoplasma sichtbar. Nach kurzem Auswaschen kam alles wieder zur Ruhe, die Fäden boten das gleiche Aussehen wie zu Anfang dieses Versuches und die Netzbildung auf Zusatz von Aceton konnte neuerdings erzielt werden.

Die in größerer Zahl an den aus zerschnittenen Vaucheriafäden heraustretenden Protoplasmaballen angestellten Versuche lieferten ähnliche Resultate. Chinin bewirkt einen raschen Zerfall des körnigen oder vakuolig schaumigen Wandbelegs in zahlreiche feine Tröpfchen, die in lebhafter Brownscher Molekularbewegung das Innere des Ballens erfüllen; schließlich geraten auch die Chloroplasten und Fettropfen in Vibrationen. Beim Wegspülen des Chinins mit 0,1 Mol. van 't Hoff kommen zuerst die Chloroplasten zur Ruhe, die Körnchen setzen sich allmählich zu einem körnigen oder schaumigen Belag zusammentretend, wieder an der Wand ab. Diese weitgehenden Veränderungen lassen sich vollständig rückgängig machen, bei zu langer Einwirkung dagegen platzen schließlich die Ballen. — Ähnlich wie Chinin purum oder Chininhydrochlorid wirkt Brucinnitrat, ferner Ammoniak, Trimethyl- und Triaethylamin; auch die aromatischen Amine wie p- und m-Phenylendiamin, sowie 124- und 134-Toluylendiamin, endlich Benzamid brachten, wenn auch meist nicht so rasch, die gleichen Veränderungen hervor. Unter der Einwirkung mancher dieser Stoffe hoben sich die Chloroplasten von der Ballenwand ab und in dem so entstandenen Zwischenraume traten nicht selten ein Schaumwerk bildende Vakuolen auf oder wurde der Wandbeleg selbst schaumig. Bei weiterer Einwirkung zerfielen die Schaum-

lamellen in eine Unzahl feiner lebhaft tanzender Tröpfchen, um sich nach Beseitigung des wirksamen Mittels unter stetiger Abnahme der schwingenden Tröpfchen wieder auszubilden.

Diese Vakuolenbildung, das Entstehen einer Schaumstruktur dürfte als jene Erscheinung anzusprechen sein, die Klemm[1] am Protoplasma durch Behandlung mit verschiedenen basischen Stoffen erzielte. Der reversible Zerfall der Schaumlamellen und des Wandbelegs überhaupt, der an Vaucheria hamata eingehender untersucht, aber auch an anderen Vaucheriaarten beobachtet wurde, hat unleugbar eine gewisse Ähnlichkeit mit den im Vorangehenden für die Moose beschriebenen Veränderungen der Netzstrukturen bei Applikation verschiedener chemischer Mittel; während aber dort die Chloroplasten stets in vollständiger Ruhe — ganz vereinzelte Fälle ausgenommen — blieben, traten hier auch die Chloroplasten sowie andere Protoplasmabestandteile in Vibrationen ein, die ohne Zweifel ebenfalls als Brownsche Molekularbewegung jedoch von kleinerer Amplitude entsprechend der größeren Masse zu deuten sind. Dies spricht für eine allgemeine Alteration des Protoplasmas von Vaucheria, man gewinnt den Eindruck, als ob die Viskosität desselben durch die eingedrungenen Stoffe herabgesetzt worden wäre; vielleicht finden in dem Auftreten der Tröpfchen Entmischungsvorgänge von Protoplasmastoffen verschiedener Quellbarkeit ihren Ausdruck. Wie dem auch sei, es handelt sich hier um eine reversible Desorganisation des gesamten wandständigen Protoplasten im Gegensatz zu den bei Moosen bestehenden Verhältnissen, wo nur die der Vakuolenwand anliegenden Fadenbildungen der Auflösung in tanzende Tröpfchen anheimfallen. Selbstverständlich kann auch hier keine Verwechslung dieser Tröpfchen mit einer etwaigen Gerbstoffällung vorliegen, schon darum, weil sich eine solche bei Vaucheria nicht nachweisen läßt[2].

Spirogyra spec.

In den Bereich der Untersuchung wurden ferner die besonders in größeren Arten unschwer zu beobachtenden sehr

[1]) Klemm, P., Desorganisationserscheinungen der Zelle. Jahrb. f. wiss. Bot. 1895. **28**, 664.

[2]) Wildeman zit. nach Czapeks Biochemie. **2**, 579.

zarten Protoplasmastränge gezogen, die unter dem Chloroplastenband liegen und eine schon in der intakten Zelle recht lebhafte Protoplasmaströmung aufweisen, ferner auch die vom wandständigen Plasma zum Kern ziehenden Aufhängefäden. Weder bei Behandlung mit Chinin noch mit Alkohol traten die für die Moose beschriebenen charakteristischen Veränderungen ein; im ersten Fall hoben sich schließlich die Schraubenbänder in der bekannten Weise von der Membran ab, im letzteren Falle erfolgte zunächst eine Förderung der Plasmaströmung, die dann wieder nachließ, in den Plasmasträngen traten Stauungen des Plasmas ein, wie sie wiederholt für geschädigte Zellen angegeben wurden. Sehr niedrige Chininkonzentrationen bewirkten keine Gerbstoffällungen in den Zellen, waren aber noch in der angegebenen Weise wirksam. Nach dem morphologischen Bild und nach dem geschilderten Verhalten können diese Stränge nicht mit den bei Moosen vorkommenden Strukturen identifiziert werden.

Pteridophyten.

Senn (l. c. S. 83 und Fig. 35) beobachtete »Peristromialpseudopodien« in Aneimiaprothallien. Ich untersuchte solche von Pteris cretica; in einzelnen Zellen finden sich fädige Gebilde, die mannigfach miteinander anastomosieren, auch vom Kern und den Chloroplasten ausgehen und letztere untereinander verbinden. Chininbase bewirkte zunächst eine lebhafte Bewegung in den Fäden, die zum Teil körnig wurden, in lebhaft tanzende kurze Fadenstücke und Körnchen zerfielen. Bei Entfernung der Chininlösung traten Ringe in einzelnen Zellen auf. In 10% Alkohol entstand nur eine Umformung der netzartigen Strukturen, die erst beim Auswaschen in lebhaft tanzende Tröpfchen zerfielen.

Auch in den Zellen des Sporophyten kommen derartige Fäden vor; ich fand sie in den Blattepidermiszellen eines noch durchsichtigen ganz jungen Pflänzchens von Pteris cretica, aber nur in wenigen Zellen. Mit Chinin gaben sie eine reversible Auflösung in Körnchen, mit Alkohol war, abgesehen von Umformungen, diese Wirkung nicht zu erzielen.

Daß diese Strukturen den an Moosen studierten, völlig übereinstimmenden an die Seite zu setzen sind, kann wohl nicht

bezweifelt werden. Die feinen Verbindungsfäden zwischen den Chloroplasten von Selaginella hingegen, die von Haberlandt[1] beschrieben wurden und durch unvollständige Teilungen der Chlorophyllkörner zustande kommen, sind im Einklang mit dieser Deutung anderer Natur; es gelang mir weder mit Chininbase, noch mit Alkohol sie zu einem Zerfall in tanzende Tröpfchen zu bringen.

Phanerogamen.

Auch für solche existieren einige Angaben über das Vorkommen von »Peristromialpseudopodien«, die sich bei Senn (l. c. S. 300) zusammengestellt finden. Leider konnte ich diese Bildungen in den Schnitten — alle bisher angeführten Pflanzen wurden im intakten Zustande untersucht — nicht in entsprechender Form sicherstellen, um an ihnen die Wirkung von Chinin und Alkohol zu studieren.

Nach Linsbauer und Abranowicz (l. c.) kommen ähnliche protoplasmatische Strukturen wie bei Funaria auch in den Zellen von Lemna trisulca vor. Trotz eifrigen Suchens konnte ich sie aber an meinem im Frühjahr untersuchten Material nicht auffinden; manchmal ist man geneigt, die welligen Membranen der darüber gelegenen Zellage für solche zu halten.

Endlich untersuchte ich noch die von Lidforss[2] studierten kinoplasmatischen Stränge, die er bei verschiedenen Pflanzen schon während des Lebens beobachten konnte. Hier findet sich auch die übrige Literatur über diesen Gegenstand. Seine Abbildungen weisen eine große Ähnlichkeit mit den mir von den Moosen her bekannten Bildern auf, während sich in ihrer Beschreibung einige abweichende Punkte ergeben.

Als sehr günstiges Objekt stand mir zunächst die Gartenform von Bellis perennis zur Verfügung. Zahlreiche, oft sehr feine, ihre Form unaufhörlich ändernde Stränge gehen vom Kern zum Hyaloplasma oder zu den Chloroplasten. In allen kann man bei aufmerksamer Beobachtung eine recht lebhafte Plasmaströmung konstatieren, was bereits ein wesentliches

[1]) Haberlandt, G., Die Chlorophyllkörper der Selaginellen. Flora, Jg. 71. 1888. 291.

[2]) Lidforss, B., Über kinoplasmatische Verbindungsfäden zwischen Zellkern und Chromatophoren. Lunds Univers. Arsskrift. N. F. 2, **4**, 1.

Unterscheidungsmerkmal von den Fäden der Moose darstellt. Mit Alkohol war, abgesehen von der schließlichen Sistierung der Plasmaströmung, keine sonst uns interessierende Veränderung herbeizuführen. Bei Einwirkung der Chininbase kam es häufig zu Stauungen und Knotenbildung in diesen Fäden, die immer feiner wurden und schließlich wahrscheinlich zerrissen. Die Plasmaballungen gerieten in lebhafte Brownsche Molekularbewegung, wurden eine Zeit lang noch von der Strömung mitgeführt, schließlich an einer Stelle anscheinend abgesetzt. Bei rechtzeitigem Auswaschen bildeten sich wieder Fäden, und boten, nachdem auch die Plasmaströmung wieder aufgenommen worden war, dasselbe Aussehen dar, wie früher.

In Epidermiszellen von Haemanthus coccineus, welcher nach Lidforss ebenfalls ein sehr geeignetes Objekt zur Untersuchung darstellt, sind sehr zarte Fäden anzutreffen, die zwischen Kern, Membran und Elaioplasten ausgespannt sind und Protoplasmaströmung erkennen lassen. Mit 10% Alkohol konnte ich keine charakteristische Veränderung feststellen, abgesehen davon, daß die Strömung anfangs stimuliert, dann verlangsamt wurde; die Fäden blieben lange Zeit erhalten, einen Zerfall vermochte ich nicht zu beobachten. Auf Zusatz von 0,001 Mol. Chininhydrochlorid wurden die Stränge immer dünner, es traten in ihnen Knoten- und Ballenbildungen auf, die von der immer mehr und mehr abnehmenden Strömung herumgeführt wurden; schließlich erreichten sie eine so geringe Dicke, daß sie kaum mehr sichtbar waren; eine Auflösung in Tröpfchen konnte nicht konstatiert werden.

Es handelt sich hier offenbar um ähnliche Gebilde wie bei Spirogyra, besonders die Protoplasmaströmung bildet für die kinoplasmatischen Stränge, soweit ich mich überzeugen konnte, ein wichtiges Kennzeichen im Gegensatz zu den Fadengebilden der Moose, wo eine solche in keinem Falle zur Beobachtung gelangte. Alkoholbehandlung hatte niemals einen tropfigen Zerfall der Fäden zur Folge, aber auch die Chininwirkung unterscheidet sich in ihrem Verlaufe von den bei Moosen mit diesem Stoff erzielbaren charakteristischen Vorgängen, wenn man von gewissen, wie ich glaube, nur äußerlichen Analogien absieht.

Zusammenfassung.

Für eine größere Zahl von Laub- und Lebermoosen wird das Vorkommen von faden- und netzförmigen Bildungen mannigfachster Gestalt, vor allem in den Blattzellen beschrieben, wie solche hauptsächlich von Funaria her bekannt geworden sind.

Besonders auffällig sind die vorzüglich in den Öhrchenzellen älterer Blätter von Fontinalis antipyretica beobachteten Fadenknäuel, welche alle Übergänge zu netzartiger Gestaltung aufweisen, die häufiger in jüngeren Blättern anzutreffen ist; nicht nur mit abnehmendem Alter der Blätter, auch gegen die Blattspitze zu erfahren diese Strukturen eine geringer werdende Ausbildung. Besonders die Basalzellen eignen sich bei Fontinalis wie auch bei den übrigen Moosen zur Untersuchung. Die Knäuel, desgleichen die in geringer Zahl vorkommenden Fadenstücke, in den höher gelegenen Zellen der Blattfläche liegen dem Kern an. Die Fadenbildungen von Fontinalis bestehen wahrscheinlich zum größten Teil aus Fett und wurden in Pflanzen, die von verschiedenen Standorten zu verschiedenen Jahreszeiten gesammelt wurden, aufgefunden. Neben Fontinalis wurde vor allem Funaria hygrometrica eingehender studiert. Die Filarstrukturen von Hookeria lucens bilden auf Zusatz von Osmiumsäure momentan ein sehr regelmäßiges Netzwerk.

Die Fäden sämtlicher untersuchten Moose erscheinen gleichförmig homogen oder mit kleinen, stark lichtbrechenden Tröpfben besetzt. Sie ändern unaufhörlich ihre Form, Lage und Sichtbarkeit; Protoplasmaströmung konnte in ihnen nicht festgestellt werden.

Sämtliche Filarbildungen mannigfachster Gestalt zerfallen unter der Einwirkung gewisser in die lebende Zelle diosmierender Mittel nach Durchlaufen charakteristischer Zwischenstufen (myelinartige Bildungen, Fadenstücke, Schleifen, Ringe usw.) schließlich in feine, meist mikroskopisch sichtbare Tröpfchen mit lebhafter Brownscher Molekularbewegung und bilden sich bei Beseitigung des in dieser Weise wirksamen Stoffes durch Auswässern, wiederum zurück auf Kosten der immer mehr schwindenden Tröpfchen durch Wiedervereinigung derselben, wobei die erwähnten Zwischenstadien dieser Veränderungen nunmehr in umgekehrter Reihenfolge zur

Beobachtung gelangen. Diese völlig reversiblen, ohne jede anhaltende Schädigung des Zellenlebens erzielbaren Vorgänge, die für die verschiedenen Moose ein sehr gleichartiges Bild ihres Verlaufes aufweisen, hinsichtlich der sie verursachenden Agentien sich unterscheiden können, wurden bei Funaria am eingehendsten untersucht; es erwiesen sich die verschiedensten Stoffe (Alkaloide, Alkohole, Fettsäuren usw.) in diesem Sinne, wenn auch verschieden energisch, wirksam; über das mögliche Zustandekommen dieser »Emulgierung« werden einige Betrachtungen angestellt.

Die zur völligen tropfigen Emulgierung führenden Vorstufen kommen gelegentlich auch in intakten Zellen vor. Dieselben Veränderungen wie die durch den Eintritt gewisser Stoffe in die lebende Zelle erzielbaren lassen sich auch durch Belichtung eines vordem verdunkelten Blattes hei Funaria herbeiführen.

Es wird sehr wahrscheinlich gemacht, daß die meisten Strukturen von Funaria der Zellsaftseite der inneren Plasmahaut anliegen; die plasmatische Natur der Fäden ist nicht bewiesen, jedenfalls unterscheiden sie sich in ihren Eigenschaften von dem wandständigen Plasma.

Es wird eine hypothetische Vorstellung in Erwägung gezogen, durch die sowohl die unaufhörliche, mannigfaltige Umgestaltung der Fadengebilde bei Funaria, wie auch die weiteren Stadien der Emulgierung in intakten Zellen und bei Belichtung auf eine einheitliche Ursache zurückgeführt werden könnten.

Endlich wird dieses merkwürdige Verhalten der Fäden auf Zusatz gewisser Agentien zur experimentellen Überprüfung der Frage, ob die Filarbildungen in einem ursächlichen Zusammenhang zur Chloroplastenbewegung stehen, herangezogen. Die angestellten Versuche sprechen zu ungunsten der auf einem solchen sich aufbauenden Theorien über den Mechanismus der Chloroplastenverlagerung; von letzterer wird eine neue Vorstellung gegeben, welche die in dieser Arbeit mitgeteilten Befunde und Annahmen zur Grundlage hat.

Im Anhang werden Vertreter anderer Pflanzengruppen auf derartige Strukturen hin untersucht; bei Farnen finden sich in den Zellen des Sporophyten wie des Gametophyten mit den bei Moosen beschriebenen Strukturen zweifellos zu identifizierende Fäden; Vaucheria bietet zum Teil ähnliche Verhältnisse, doch

wird bei dieser im Gegensatz zu den bei Moosen auf Zusatz verschiedener Stoffe erhaltenen Veränderungen wahrscheinlich das ganze Plasma alteriert. Die kinoplasmatischen Fäden in Zellen von Phanerogamen und die wohl ähnlichen Plasmafäden in Spirogyra dürften dagegen nach meiner Meinung nicht als gleichartige Bildungen aufzufassen sein.

Prag, im Juli 1913.

Pflanzenphysiologisches Institut der deutschen Universität.

Figurenerklärung.

Fig. 1 und 2. Fontinalis antipyretica. Öhrchenzellen eines älteren Blattes mit kompakten Fadenknäueln.

Fig. 3. Fontinalis antipyretica. Fadenknäuel in loserer Ausbildung; einzelne Fäden treten aus ihm heraus und erscheinen als Verbindungsstränge der Chloroplasten.

Fig. 4. Fontinalis antipyretica. Ähnliche Verhältnisse wie in Fig. 3; Öhrchenzelle eines jüngeren Blattes.

Fig. 5. Fontinalis antipyretica. Zelle vom Grunde eines jüngeren Blattes. Netzwerk mit vorherrschend in der Querrichtung der Zelle verlaufenden Fäden.

Fig. 6 und 7. Fontinalis antipyretica. Zellen aus der Blattmitte älterer Blätter mit einfacheren Schleifenbildungen.

Fig. 8. Fontinalis antipyretica. Kerne mit anliegenden Körnern, kurzen Fadenstücken und Schleifen aus Zellen nahe der Spitze älterer Blätter nach mit Jodjodkali oder Essigsäure-Methylgrün behandelten Präparaten. In manchen Figuren wurde ein Stück der angrenzenden Zellwand mitgezeichnet.

Fig. 9. Funaria hygrometrica. Stück aus einer langgestreckten Zelle von der Blattbasis mit Fadenstrukturen.

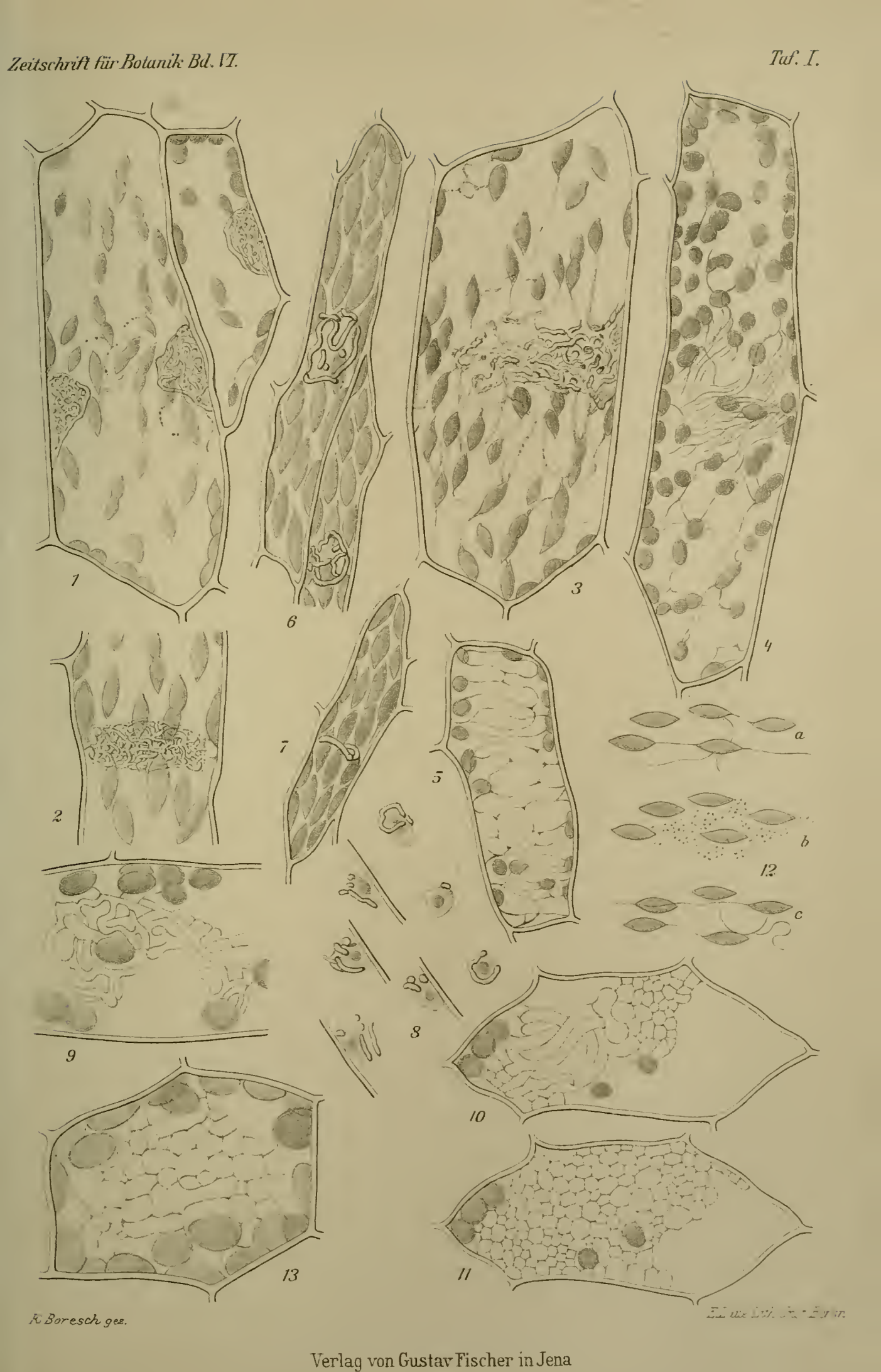
Fig. 10. Hookeria lucens. Intakte Zelle von der Blattbasis mit Fadenbildungen.

Fig. 11. Dieselbe Zelle nach Behandlung mit Osmiumsäure. (Siehe S. 119.)

Fig. 12. Fontinalis antipyretica. Chloroplastengruppe mit Fäden a) in der intakten Zelle. b) Zerfall der Fäden in Tröpfchen mit Brownscher Molekularbewegung auf Einwirkung von Chinin. c) Wiedergebildete Fäden bei Beseitigung der Chininlösung durch längeres Auswaschen.

Fig. 13. Funaria hygrometrica. Zelle aus einem durch 24 Stunden verdunkelten Blatt. Chloroplasten vorwiegend in Apostrophe. An der von ihnen entblößten Flächenwand ein Netzwerk.

Vergrößerung in sämtlichen Figuren ungefähr 700. Jene Bilder, die von lebenden Zellen abgenommen wurden, sind infolge der steten Veränderung der Fadenbildungen, die sich schon während des Zeichnens bemerkbar machten, nicht absolut genau.



K. Boresch gez.

Verlag von Gustav Fischer in Jena

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Zeitschrift für Botanik

Jahr/Year: 1914

Band/Volume: 6

Autor(en)/Author(s): Boresch Karl

Artikel/Article: Über fadenförmige Gebilde in den Zellen von Moosblättern und Chloroplastenverlagerung bei Funaria. 97-136