

BOTANISCHES ARCHIV



ZEITSCHRIFT FÜR DIE GESAMTE BOTANIK.
HERAUSGEBER DR. CARL MEZ,
PROFESSOR DER BOTANIK AN DER UNIVERSITÄT
KOENIGSBERG.

20. BAND, HEFT 1-2. AUSGEGEBEN AM 1. OKT. 1927

Verleger und Herausgeber: Prof. Dr. Carl Mez, Königsberg Pr., Besselplatz 3 (an diese Adresse alle den Inhalt der Zeitschrift betreffenden Zusendungen). - Commissionsverlag: Verlag des Repertoriums, Prof. Dr. Fedde, Berlin-Dahlem, Fabeckstrasse 49 (Adresse für den Bezug der Zeitschrift). - Alle Rechte vorbehalten. - Copyright 1927 by Carl Mez in Königsberg.

Untersuchungen über die Rheotaxis der Plasmodien.

Von MARIE HELENE KEFERSTEIN (Heidelberg).

In einer Arbeit ROSANOFFs vom Jahre 1868 "L'Influence de L'Attraction Terrestre des Plasmodies des Myxomycetes" wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass zentripetale Bewegungen der Plasmodien auf dem Zentrifugalapparat durch zentrifugale Wasserströmungen im Substrat veranlasst werden. SCHLECHTER (1878) stellte dann in der Tat fest, dass kapillare Wasserbewegung in einer Fliesspapierunterlage Richtungsbewegungen darauf ausgebreiteter Plasmodien veranlasst. "Die Plasmodien strömen dem Wasserstrom entgegen".

Durch die Untersuchungen JÖNSSONs (1883) und vor allem STAHLs (1884) wurden diese Beobachtungen bestätigt und erweitert. Beide stellten eine schwache Wasserströmung auf folgende Weise her. Ein Filtrierpapierstreifen wurde so über den Rand eines mit Wasser gefüllten Glases gehängt, dass ein Ende des Streifens in das Wasser tauchte, das andere ausserhalb des Glases frei herabhängt. Wie in einem Saugheber bewegt sich das Wasser in dem Filtrierpapierstreifen vom Wasserspiegel bis zum höchsten Punkt aufwärts und dann abwärts. Berührt das freie Ende eines solchen Filtrierpapierhebers ein Plasmodium, so wandert dieses auf dem Streifen nach oben der Stromrichtung entgegen. Wird die Richtung der Wasserbewegung umgekehrt, so kehrt auch das Plasmodium um.

Das Wesen dieser Bewegung ist noch nicht aufgeklärt. JÖNSSON vermutet, dass das Auftreffen der bewegten Wasserteilchen die Plasmodien mechanisch reize. Diese Vorstellung einer Druckwirkung strömenden Wassers entwickelte sich auf Grund ähnlicher Reizerscheinungen bei Wurzeln weiter. Wie JÖNSSON (1883) und anschliessend BERG (1899), JUEL (1900), NEWCOMBE (1902) sowie HRYNIEWIECKI (1908) fanden, krümmen sich viele Wurzeln, besonders Keimwurzeln, in strömendem Wasser der Strömung entgegen. Sie sind "rheotropisch" empfindlich. Auch für Keimlinge (*Vaccaria*) stellte STARK (1916) Reizwirkung fliessenden Wassers fest.

Dass der Druck des Wasser diese Krümmung veranlasst, machten die Versuche JUELS wahrscheinlich. Eine Kollodiumhülle hinderte die Wurzeln nicht an der Reizaufnahme. Der Umstand, dass die rheotropisch reagierenden Wurzeln auch für Berührungsreize empfindlich sind, spricht weiterhin für eine mechanische Wirkung fliessenden Wassers (NEWCOMBE). Aber die Feststellung einer Reizempfindlichkeit der ausgewachsenen Teile (NEWCOMBE) und vor allem die Beobachtungen HRYNIEWIECKI's (1908) machen diese Auffassung doch wieder fraglich. HRYNIEWIECKI zeigte nämlich, dass die chemische Beschaffenheit des Wassers von grossem Einfluss auf die rheotropische Reaktion ist, dass diese am besten in destilliertem Wasser erfolgt, gar nicht aber in KNOP-Lösung.

Eine Frage für sich ist es dann, ob wirklich, wie das bisher wohl geschah, die Rheotaxis der Myxomyceten ohne weiteres dem Rheotropismus der Keimwurzeln angeschlossen werden darf.

Vor allem sind beide Erscheinungen bezüglich der Geschwindigkeit des strömenden Wassers weitgehend verschieden. Während beim Rheotropismus Geschwindigkeiten von 500 bis 1000 cm in der Minute für optimale gelten und 2 cm in der Minute als untere Reizschwelle bezeichnet wird, erfolgen die rheotaktischen Bewegungen der Plasmodien offenbar bei ungleich geringeren Geschwindigkeiten. Auf Grund solcher Erfahrungen schien die Frage berechtigt, ob denn wirklich das Strömen des Wassers im Fliesspapierheber die Ursache der Aufwärtsbewegung des Myxomyceten sei oder ob andere, bisher übersehene Bedingungen dafür verantwortlich zu machen seien. Um das entscheiden zu können, war eine Revision aller bisherigen Beobachtungen über taktische Bewegungen bei Plasmodien nötig.

I. MATERIAL.

Als Material zu den folgenden Versuchen wurden die zu den Physaraceen gehörenden Gattungen *Badhamia* und *Puligo* benutzt. *Puligo* wurde in Gerbereien gesammelt und im Dunkelzimmer in feuchter Lehe gehalten. Sklerotien von *Badhamia* stellte Herr Professor JAHN mehrfach zur Verfügung und verpflichtete mich dadurch zu grösstem Dank.

Als Nährboden für *Badhamia* wurden, der Angabe LISTERs folgend, Streumarten benutzt. Ganz besonders eignete sich das auf Eichenstümpfen vorkommende *Stereum hirsutum*. Die Pilze wurden in Leitungswasser gekocht, bis sich das Wasser gelb färbte. Mit Filtrierpapier ausgekleidete Petrischalen wurden mit dem Pilzextrakt stark befeuchtet; die gekochten Pilze wurden in den Schalen verteilt. Einige mit Wasser befeuchtete Sklerotien von *Badhamia* wurden auf die Pilze gelegt. Am nächsten oder übernächsten Tage breitete sich das Plasmodium auf dem *Stereum* aus und vermehrte sich rasch. Die Oberfläche des ernährenden *Stereum* wurde in eine schleimige Masse verwandelt; das *Stereum* wurde heller, der unverdaute Teil zeigte auf dem Querschnitt eine braune Mittelschicht und beiderseits lockeres Hyphengeflecht. War das *Stereum* stark zersetzt, so war beim Öffnen der Petrischalen öfters schwacher Karbolgeruch wahrnehmbar. Die entstehenden Stoffwechselprodukte veranlassen wahrscheinlich die Plasmodien, halbverdaute Pilze zu verlassen, um frische aufzusuchen.

Wurde der Schleim von dem halbverdauten *Stereum* entfernt, so konnte das Plasmodium auf dem *Stereum* weiter wachsen und es bis auf eine durchscheinende Schicht auflösen. Auch in *Stereum* - Aufguss gequollener Agar wurde als Nährboden für *Badhamia* verwandt.

Wurden die Plasmodien direkt zu Versuchen benutzt, so wurden sie auf folgende Weise von ihrem Substrat gelöst: *Stereum*, dessen Oberfläche ganz von Plasmodien bedeckt war, wurde zum grössten Teil unter Wasser gesetzt. Die Plasmodien sammeln sich auf den nicht vom Wasser bedeckten Teilen des Substrates. Wird die konzentrierte Plasmodienmasse nun ganz mit Wasser bedeckt, so lässt sie sich leicht von ihrer Unterlage ablösen. Da die Plasmodien dabei aber verletzt werden, sich auch nicht in ganz gleiche Teile trennen lassen, war es für die meisten Versuche vorteilhafter, Sklerotien zu verwenden.

Um Sklerotien zu erhalten, wurde feuchtes Filtrierpapier auf die Plasmodien gelegt. Sobald sich die Plasmodien darauf gesammelt hatten, wurde das Papier langsam getrocknet.

Bei Nahrungsmangel auf gereinigtem Agar, feuchtem Filtrierpapier bildeten die Plasmodien von *Badhamia* Sporangien. Die Angabe STAHLs, dass Trockenheit die Sporenbildung begünstige, konnte nicht bestätigt werden. So bildeten ausgehungerte Plasmodien Sporen, auch wenn sie sehr feucht gehalten wurden, z.B. in feuchten Petrischalen, auf Filtrierpapier, auf das reichlich Wasser aus einer Kapillare tropfte. Sogar mehrere Tage unter Wasser gehaltene Plasmodien auf *Stereum hirs.* gingen zur Sporenbildung über, sobald sie durch Sinken des Wasserspiegels freigelegt wurden. Die Sporen entstanden nur unmittelbar über der Wasserfläche, nicht auf den höher herausragenden Teilen des Substrates. In einem besonders deutlichen Fall bildete dasselbe Plasmodium, das sich kurz vorher geteilt hatte in ungleich feucht gehaltenem Raum auf Filtrierpapier an trockener Stelle Sklerotien, an sehr feuchter Sporangien. An den Sporangien hingen sogar Wassertröpfchen.

Die Kulturen wurden im Dunkelzimmer oder Keller gehalten, in dem auch die Versuche angestellt wurden. Kürzere Belichtung mit einer elektrischen Lampe (50 Kerzen in 3 Meter Entfernung) beeinflussten die Bewegung der Plasmodien nicht, wie durch teilweise Verdunkelung und zweistündige einseitige Belichtung festgestellt wurde.

II. Die Versuche.

Ausgegangen wurde von den Versuchen STAHLs. Wurden Plasmodien nach STAHLs Methode auf wasserdurchströmte Filtrierpapierheber gebracht, so reagierten sie rheotaktisch.

Es wurde nun untersucht, welchen Einfluss

1. die Schwerkraft
 2. die Geschwindigkeit der Strömung
 3. die Wasserverteilung im Filtrierpapier und in der darüber befindlichen Luft
 4. die Beschaffenheit des Wassers und des Substrates
 5. die Temperatur
- auf diese rheotropischen Bewegung ausüben.

I. EINFLUSS DER SCHWERKRAFT.

Beeinflussung der Bewegungen der Plasmodien durch die Schwerkraft wurde zwar von ROSANOFF und BARANETZKI angenommen, von STAHL aber bereits widerlegt. Nach STAHL breiten sich Plasmodien auf vertikalen, gleichmässig feuchten Platten allseitig aus. STAHLs Feststellung wurde durch folgende Versuche bestätigt: Die Bewegungsrichtung von Plasmodien, die sich auf horizontalen Agarplatten ausgebreitet hatten, liess sich durch Vertikalstellen der Kulturen nicht beeinflussen. Versuch I. Versuchsdauer 14 Stunden.

13 horizontal stehende Schalen (8 cm Durchmesser) wurden mit 2% Agar halb gefüllt. Auf die zunächst horizontal gestellten Platten wurden Plasmodien von *Badhamia* gebracht. Nach 15 Stunden wurden die Schalen aus der Horizontallage in die Vertikallage gebracht. Die ursprüngliche Bewegungsrichtung wurde ebenso beibehalten wie in drei zur Kontrolle horizontal stehenden Schalen.

Der Versuch wurde 12 Mal mit *Badhamia* und 8 Mal mit *Fuligo* mit gleichem Resultat.

tat wiederholt. Im Einklang damit steht das negative Resultat folgender Zentrifugalversuche:

Versuch vom 25.5.20. Versuchsdauer 9 Stunden. 4 Agarplatten, auf denen sich 4 Plasmodien von *Badhamia* ausgebreitet hatten, wurden zentrifugiert. (Grösse der Fliehkraft 1,09 g). Es konnten keine zentripetale Bewegungen festgestellt werden.

Danach scheidet Geotaxis als Erklärungsmöglichkeit für die rheotaktische Erscheinung aus.

II. EINFLUSS DER STROMGESCHWINDIGKEIT.

Das Vorhandensein einer Strömung in den Filtrierpapierhebern hat bereits STAHL festgestellt. Werden nach seiner Angabe Farbstoffkörnchen auf die Heber gestreut, so färbt der sich allmählich auflösende Farbstoff das Wasser. Das Fortschreiten der Färbung zeigt die Wasserbewegung an. Ihre Geschwindigkeit ist bei STAHL nicht angegeben. Zunächst war also eine Bestimmung der durchschnittlichen Stromgeschwindigkeit in den Hebern nachzuholen. Nach STAHL wurden Farbstoffkörnchen benutzt, um die Bewegung des Wassers verfolgen zu können. Zur Kontrolle wurde die Stromgeschwindigkeit von Kalilauge festgestellt, deren Fortschreiten im Filtrierpapierheber aus der Bläunung seitlich am Filtrierpapier angebrachter Lackmusmarken erschlossen wurde. Die Stromgeschwindigkeit in den Filtrierpapierhebern hängt bei konstanter Luftfeuchtigkeit von der Länge der beiden Heberschenkel und der Saugkraft des Filtrierpapiers ab. Wurden Streifen mittelstarken Filtrierpapiers benutzt, deren kürzerer Schenkel (vom Wasserspiegel bis Glasrand) 2 cm lang und deren längerer frei herabhängender Schenkel 13 cm lang war, so betrug die mittlere Stromgeschwindigkeit 1 - 2 mm in der Minute. Bei dieser Geschwindigkeit zeigten Kontrollplasmodien die dem Strom entgegengesetzte Bewegung.

Wenn die Bestimmungen auch nicht genau sind, so lässt sich doch eins daraus ersehen: Die Wasserbewegung ist ausserordentlich langsam im Vergleich mit der Stromgeschwindigkeit, auf die Wurzeln rheotropisch reagieren. Das macht die Annahme, das Plasmodium könnte durch die mechanische Wirkung des strömenden Wassers gereizt werden, wenig wahrscheinlich. Berücksichtigt man, dass obendrein nur ein Bruchteil der durch das Filtrierpapier strömenden, minimalen Wassermenge auf das Plasmodium wirken kann, da die Hauptmenge des Wassers in den Kapillaren des Filtrierpapiers fliesst, so erscheint eine mechanische Wirkungsweise der Wasserbewegung ganz unwahrscheinlich.

Welchen Einfluss übt nun eine stärkere Strömung auf die Reaktion? JÖNSSON macht schon die Bemerkung, dass gesteigerte Geschwindigkeit die Plasmodien hemme ohne näheres anzugeben. Die Angabe bestätigt sich. Schon durch eine mässige Strömung werden die Plasmodien von ihrer Unterlage teilweise abgelöst und mechanisch fortgerissen. So lösten sich die Plasmodien von schräg gestellten Agarplatten, über die Wasser langsam rieselte (Geschwindigkeit?). Auch vom Filtrierpapier fand Loslösung statt, wenn der Strom erheblich verstärkt wurde, wie folgender Versuch I vom 16.9.20 zeigt: Eine an der Wasserleitung angebrachte Blechdose war mit vier seitlichen Ausflussröhren versehen. An diese waren mittels Gummischlauch vier in Spitzen ausgezogene Glasröhren angeschlossen. Aus den Röhren tropfte Wasser auf 30 cm lange, 2 cm breite Filtrierpapierstreifen, die durch Glasplatten gestützt annähernd senkrecht aufgestellt waren. Je ein Sklerotium von *Badhamia* wurde in halber Höhe auf jeden der Filtrierpapierstreifen gelegt, auf die das Wasser tropfte. Leider wechselte die Stromgeschwindigkeit während des Versuches.

Versuchsdauer 14 Stunden, Temperatur 18 C.

Zahl der Tropfen in der Minute
durchschnittlich 100

" 100

" 45

" 9

↓

2↓ cm

1,5↑ cm

4,5↑ cm

Bewegung der Plasmodien

{ fransenartig herabhängend }

{ " " }

{ teilweise kontrahiert }

Die Richtung der Pfeile gibt hier wie in den folgenden Versuchen die Bewegungsrichtung der Plasmodien an, $\uparrow$ bedeutet stromaufwärts, $\downarrow$ bedeutet stromabwärts.

Dass ein schwächerer Strom schon genügt, um die Ausbreitung des Plasmodiums zu hemmen, geht aus folgendem Versuch vom 19.5.20 hervor. Aus einer MARIOTTESchen Flasche tropfte Wasser auf einen Filtrierpapierbansch, der den Strom auf einen 1,8 cm breiten Filtrierpapierheber übertrug. Der Filtrierpapierstreifen lag auf einer steil aufgestellten Glasplatte.

Versuchsdauer 20 Stunden.

Zahl der Tropfen in der Minute

17

Richtung des *Fuligo* -Plasmodiums

$\uparrow$ 2 cm kontrahiert

Der Eindruck, dass die Plasmodien durch rascher strömendes Wasser zu rückwärts gerichteten Bewegungen veranlasst werden und sich zusammenballen, wird noch erhöht durch Beobachtungen über die Wirkung von Wassertröpfchen. Lässt man Wasser auf Filtrierpapier in der Nähe eines sich ausbreitenden Plasmodiums tropfen, so wird die Tropfstelle selbst von dem Plasmodium freigelassen. Selbst die Berührung zerstäubten Wassers wird von dem Plasmodium gemieden, wie aus einem späteren Versuch hervorgeht. Es genügt danach schon geringe mechanische Einwirkung von Wasser, um die Plasmodien zum Ausweichen zu veranlassen. Diesem Verhalten würde eine auf Druckwirkung beruhende positive Rheotaxis wenig entsprechen.

Aufschluss über die Abhängigkeit der Bewegung von der Stromgeschwindigkeit innerhalb engerer Grenzen sollten folgende Versuche geben: Nach der im letztgenannten Versuch vom 19.5.20 angegebenen Methode wurde ein konstanter Wasserstrom in einem Filtrierpapierheber hergestellt. Der Heber verbrauchte 20,8 ccm Wasser in der Stunde, also 0,34 ccm in der Minute. Zum Vergleich dienten zwei daneben angebrachte Heber, deren Wasserverbrauch nur 0,5 ccm in der Stunde, also 1/40 der Menge des ersten Hebers betrug. Schliesslich wurde bis auf 1/100 herabgegangen. Die ganze Anordnung stand auf halb mit Wasser gefüllter Schale unter einer Glasglocke.

1.6.20. Versuch 1. Versuchsdauer 24 Stunden, Temperatur 20 C

Material: Plasmodien von *Badhamia*, 7 cm oberhalb des freien Heberendes auf die Heber gelegt.

In der Minute durch den Heber

Richtung der Plasmodien

fliessende Wassermenge

0,008 ccm

$\uparrow$ 11 cm

0,34 ccm

$\uparrow$ 11 cm

0,008 ccm

$\uparrow$ 11 cm

3.6.20. Versuch 2. Versuchsdauer 26 Stunden, Temperatur 20 C.

Plasmodien von *Badhamia* 6 cm oberhalb des freien Heberendes auf die Heber gelegt.

In der Minute durch den Heber

Richtung der Plasmodien

fliessende Wassermenge

0,003 ccm

$\uparrow$ 11 cm

0,34 ccm

$\uparrow$ 11 cm

0,003 ccm

$\downarrow$

4.6.20. Versuch 3. Versuchsdauer 24 Stunden, Temperatur 21 C.

Plasmodien von *Badhamia* 8,5 cm oberhalb Heberende aufgelegt.

In der Minute durch den Heber

Richtung der Plasmodien

fliessende Wassermenge

0,003 ccm

$\uparrow$ 12,5 cm

0,34 ccm

$\uparrow$ 14 cm

0,003 ccm

$\uparrow$ 12 cm

Plasmodium 3 kriecht über die Glasplatte, auf der die drei Heber liegen, auf den Streifen hinüber, der die grosse Wassermenge erhält.

Die Versuche zeigen auf das Bestimmteste, dass die Aufwärtsbewegung der Plasmodien weitgehend von der Stromgeschwindigkeit unabhängig ist; bei einer Zunahme der Stromgeschwindigkeit von 1:100 war die Kriechgeschwindigkeit unverändert.

III. EINFLUSS DES WASSERGEHALTES VON SUBSTRAT UND LUFT.

Es ist bekannt, dass die Plasmodien für geringe Unterschiede in der Feuchtigkeit ihrer Umgebung empfindlich sind und im allgemeinen positiv hydrotaktisch reagieren, also nach dem Orte grösserer Feuchtigkeit gehen. Es war daher zunächst zu prüfen, ob Hydrotaxis in sofern eine Rolle bei den Bewegungen entgegen der Wasserströmung spielt, als etwa ein wasserdurchströmtes Stück Filtrierpapier oben und unten ungleiche Mengen von Wasser enthält.

Wassergehalt des Filtrierpapiers.

Über die Wasserverteilung in Filtrierpapierhebern, die in Luft von mittlerer Dampfspannung funktionierten, geben folgende Messungen Aufschluss:

Aus sechs etwa 20 cm langen Aussenschenkeln von Filtrierpapierhebern, wurden oben 2 cm und unten 4 cm abgeschnitten. Die mittleren, etwa 14 cm langen Partien wurden in der Mitte quer durchgeschnitten. Beide Hälften wurden einmal im frischen, wasserdurchströmten Zustand, andererseits nach völliger Trocknung gewogen. Die folgende Tabelle gibt den Wassergehalt an:

Durchschnittl. Wassergehalt eines Filtrierpapierstückes.	1.Messung,	2.Messung,	3.Messung
obere Hälfte	0,1306 gr	0,1379 gr	0,1433 gr
untere Hälfte	0,1314 gr	0,1403 gr	0,1445 gr
Differenz zu Gunsten der unteren Hälfte	+0,0008 gr	+0,0024 gr	+0,0012 gr
Durchschnittl. Wassergehalt eines Filtrierpapierstückes.	4.Messung,	5.Messung.	
obere Hälfte	0,1463 gr	0,1551 gr	
untere Hälfte	0,1484 gr	0,1546 gr	

Differenz zu Gunsten der unteren Hälfte

+0,0021 gr -0,005 gr

Aus diesen Messungen lässt sich folgendes entnehmen. Der Wasserverlust der verschiedenen Abschnitte des Hebers durch Verdunstung und die Wasserversorgung durch die kapillare Wasserbewegung stehen im Gleichgewicht miteinander. Nach den ersten vier Messungen scheint allerdings eine minimale Differenz im Wassergehalt zugunsten der unteren Teile des Hebers zu bestehen, ob infolge Schwerkraftwirkung auf die Wasserteilchen oder stärkerer Verdunstung im oberen Teil des Hebers ist fraglich. Sie ist jedenfalls so gering, dass sie keine Rolle spielen kann.

Somit kann in Differenzen des Wassergehalts in den Hebern die Ursache für das Aufwärtskriechen der Plasmodien nicht gefunden werden.

Einfluss der Luftfeuchtigkeit.

In den rheotaktischen Versuchen berührt nur die Unterseite des Plasmodiums das wasserdurchströmte Fliesspapier, während die Oberseite an Luft grenzt, in der Feuchtigkeitsschwankungen nicht ausgeschlossen sind. Es wurde zunächst versucht diese Feuchtigkeitsschwankungen dadurch zu vermeiden, dass das Plasmodium ganz unter Wasser getaucht wurde, sowie das ja auch in rheotropischen Versuchen bei den Wurzeln der Fall ist.

Um festzustellen, ob unter Wasser die Bewegung der Plasmodien nicht sistiert wird, wurde das Verhalten der Plasmodien zunächst in unbewegtem Wasser beobachtet.

8.9.20. Versuch 1. Auf feuchtem Filtrierpapier ausgebreitete Plasmodien von *Badhamia* wurden zwei Millimeter hoch mit Wasser überschichtet. Wassertemperatur 18° C, Versuchsdauer 10 Stunden.

Der Rand des Plasmodiums schreitet 4 cm vorwärts.

20.9.20. Versuch 2. Eine mit Filtrierpapier bezogene Glasscheibe wurde so über einem Gefäss mit Wasser angebracht, dass die Unterseite ins Wasser tauchte.

Auf dieser Unterseite hatte sich ein Plasmodium von *Badhamia* ausgebreitet. Wassertemperatur 15,5 C, Versuchsdauer 10 Stunden.

Das Plasmodium zeigte nur geringe Ortsveränderung und bildete herabhängende Fortsätze.

Die Versuche zeigen, dass eine sehr dünne Schicht von Wasser die Bewegung der Plasmodien nicht hemmt. Wenn aber eine hohe Bedeckung mit Wasser erfolgt, so stört offenbar der Sauerstoffmangel, und dies ist auch der Grund, weshalb im Versuch 2 keine deutliche Bewegung zu erkennen war. Leider liess sich aber eine Bewegung des Wassers gegen das Plasmodium nur an einem nach der Art des Versuches 2 eintauchenden Plasmodiums durchführen. So war es von vorneherein klar, dass keine guten Erfolge zu erzielen sein würden. Trotzdem möge kurz über die Versuche berichtet werden:

Ein Klinostat dreht eine horizontale Glasscheibe, die in ein Gefäss mit Wasser taucht. Auf der Unterseite der mit Filtrierpapier bezogenen Scheibe ist ein Plasmodium von *Badhamia* ausgebreitet.

Versuch 1. Wassertemperatur 16 C, Versuchsdauer 7 Stunden.

Eine Umdrehung in 11 Minuten, Plasmodium zeigt geringe Bewegung in ursprünglicher Richtung nach der Peripherie der Scheibe und bildet in das Wasser herabhängende Fortsätze.

Der Versuch wurde zwei mal mit dem gleichen Resultat wiederholt. Er zeigt jedenfalls, dass eine Beeinflussung der Bewegung durch das strömende Wasser nicht nachzuweisen ist.

Statt die Untersuchungen in dieser Richtung fortzusetzen, wurde vorgezogen, gleichmässige Feuchtigkeit durch möglichste Dampfsättigung der Luft herzustellen und den Wasserstrom wie vorher in Filtrierpapierhebern zu erzeugen.

Eine annähernde Dampfsättigung wurde auf folgende Weise erzielt: Eine an die Wasserleitung angeschlossene Kapillare wurde so gegen den Ausgussstein gerichtet, dass der die Wand treffende Wasserstrahl fein zerstäubte. Das Wasser wurde vor dem Eintritt in die Kapillare durch eine erwärmte Glasschlange geleitet. Ein in dem Sprühregen angebrachtes Maximalthermometer zeigte 16° C. Um die Wirkung des zerstäubten Wassers zu prüfen, wurde erst ein *Fuligo* - Plasmodium auf stromlosem feuchten Filtrierpapier dem Nebel ausgesetzt. Das Plasmodium kroch auf die Unterseite des Filtrierpapiers und zog sich zusammen. Versuchsdauer 9 Stunden.

Zwei mit Wasser gefüllte Gläser, deren Niveau durch Doppelheber konstant gehalten wurde, versorgten 9 Filtrierpapierheber mit Wasser. Plasmodien von *Badhamia* mit ihrer Filtrierpapierunterlage wurden in halber Höhe auf die Filtrierpapierheber gelegt und zwar Nr. 1-4 auf die dem Sprühregen zugekehrte, Nr. 5-9 auf die abgewandte Seite.

Richtung der Plasmodien

1. Die Plasmodien kriechen
2. auf die vom Sprühregen
3. abgewandte Seite

kaum ausgebreitet

kaum ausgebreitet

↑ 1 cm

↓ 1 cm

4.

↑ 2 cm

↓ 1 cm

5.

↑ 1,5 cm

↓ 1,5 cm

6.

↓ 1,5 cm

7. zwischen Filtrierpapierun-
8. terlage des Plasmodiums und Heber

kaum ausgebreitet

kaum ausgebreitet

9.

↑ 2 cm

Zur Kontrolle wurde nach 9 Stunden der Zerstäuber abgestellt und nun das Verhalten der Plasmodien auf denselben Filtrierpapierhebern verfolgt. Zwei Plasmodien krochen aufwärts, die übrigen breiteten sich auf den feucht gewordenen

Stützen der Heber aus.

Wie aus dem Versuch hervorgeht, breiten sich Plasmodien in möglichst dampfgesättigtem Raum auf den Filtrierpapierhebern gleichmässig aus und zeigen durchaus nicht die der Stromrichtung entgegengesetzte Bewegung. Dass dieser Erfolg nicht auf eine Schädigung der Plasmodien durch das zerstäubte Wasser zurückzuführen ist sondern mit der Luftfeuchtigkeit zusammenhängen muss, wurde durch Versuche in anderer Form bestätigt. Um die Luftfeuchtigkeit möglichst zu steigern, wurde ein durch eine Glasglocke begrenzter Raum durch Wasser verdunstende Flächen sehr feucht gehalten.

In der üblichen Weise wurde der Strom in Filtrierpapierhebern, deren freie Enden gestützt waren, erzeugt. Würde nach STAHL das freie Heberende auf das Plasmodium gelegt werden, so könnte das vom Heber abtropfende Wasser hydrotaktische Bewegungen auslösen. Solche Störungen schliesst folgende Anordnung aus: In halber Höhe eines Hebers wurde seitlich ein Deckgläschen 3 cm x 2,3 cm mit einem sich ausbreitenden Plasmodium so angebracht, dass es mit einer Kante 1 mm weit auf den Heber übergriff. Die Anordnung stand auf einer Glasplatte und wurde durch eine Glasglocke nach aussen abgeschlossen. Durch mehrfache Lagen feuchten Filtrierpapiers, die die Glasplatte und die Glocke auskleideten, wurde der Raum möglichst feucht gehalten. Um ein Beobachten ohne Abheben der Glocke zu gestatten, wurde ein Spalt im Filtrierpapier freigelassen.

10.II.24. Versuch 1. Maximale Temperatur 24° C. Material zwei Plasmodien von *Badhamia*, Versuchsdauer 24 Stunden.

Heber 2 cm breit, kurzer Schenkel (vom Wasserspiegel bis Glasrand) 0,8 cm, langer Schenkel 13 cm lang, Wasserverbrauch eines Hebers 0,8 ccm in der Stunde. Von dem den Heber seitlich berührenden Deckglas aus breiten sich die Plasmodien auf den Hebern aus.

Das Vorderende vom Plasmodium 1 bildet zuerst einen regelmässigen Halbkreis, dessen Durchmesser mit dem den Heber berührenden Rand des Deckglases zusammenfällt. In 10 Stunden breitet sich das Plasmodium ganz regelmässig nach oben und unten über 9 cm des Hebers aus und kriecht schliesslich abwärts auf ein beschlagenes Glas, das das Heberende stützt.

Plasmodium 2 bildet zunächst ebenfalls einen Halbkreis auf dem Heber und wandert schliesslich abwärts.

Versuch 2. Zwei Plasmodien von *Badhamia*, Versuchsdauer 7 Std.

Heber 1,5 cm breit, kurzer Schenkel 0,5 cm lang, langer Schenkel 2 cm lang. Der vorwärts schreitende Rand beider Plasmodien bildet zuerst regelmässige Halbkreise, allmählich verstärkt sich der nach unten gerichtete Teil. Nach 7 Stunden ist ein Plasmodium 2,5 cm, das andere 3 cm abwärts gewandert.

Wiederholungen der Versuche mit *Badhamia* - Plasmodien ergaben folgendes Resultat: Von 11 Plasmodien blieben 6 Plasmodien auf den beschlagenen Deckgläsern, 5 Plasmodien breiteten sich auf den Hebern aus und zwar wanderten schliesslich 4 abwärts, 1 aufwärts.

In einem Versuch mit *Fuligo* - Plasmodien wanderten eines abwärts, eines aufwärts, eines teilte sich. Die Versuche bestätigen das Versagen der "rheotaktischen" Bewegung in sehr feuchtem Raum. Das Plasmodium bildete von dem seitlichen Ausgangszentrum aus zunächst einen regelmässigen Halbkreis auf dem Heber, um dann nach oben oder unten zu wandern. Die Regelmässigkeit der Halbkreise zeigt deutlich, dass unter diesen Versuchsbedingungen der Wasserstrom völlig ohne Einfluss ist.

Um die relative Dampfspannung zu bestimmen, die gerade ausreicht, um die Stromaufwärtsbewegung der Plasmodien aufzuheben, wurden Heberversuche in verschiedenen feucht gehaltenen Räumen angestellt. Mittels eines Hygrometers wurde die Dampfspannung gemessen, bei der die Plasmodien stromaufwärts wanderten und diejenige bei der die Aufwärtsbewegung versagte. Der Grenzwert muss nach folgenden Bestimmungen zwischen 91 und 94% relativer Dampfspannung liegen:

Versuch 1. Konstante Temperatur 19 C, Versuchsdauer 24 Stunden.

Material: 12 Sklerotien von *Badhamia* (je 5 mm im Quadrat, 1 cm breite Filtrierpapierheber (kurzer Schenkel 1 cm lang, langer Schenkel 2 cm lang) werden in der üblichen Weise mit Wasser versorgt. Auf den frei herabhängenden Enden der

Heber wurden in halber Höhe die Sklerotien angebracht. Bei einer Dampfspannung von 73% wanderten die Plasmodien während der Versuchsdauer durchschnittlich 2,2 cm aufwärts und nur 1 mm abwärts. Eine Wiederholung des Versuches mit 9 *Badhamia* - Plasmodien gab das gleiche Resultat.

Versuch 2. Konstante Temperatur 21,5 C, Versuchsdauer 20 Stunden, Material 6 Sklerotien von *Badhamia*. Durch Überstülpen einer Glocke über die Versuchsanordnung, die im übrigen Versuch 1 entsprach, wurde die Dampfspannung auf 91% gesteigert. Alle Plasmodien wanderten mehrere cm aufwärts und kaum 1 mm abwärts, obgleich kleine Wassertröpfchen an den zugespitzten Enden der Heber hingen. Eine Wiederholung des Versuches mit 5 Plasmodien bestätigte das Resultat.

Versuch 3. Temperatur 18 C, Versuchsdauer 24 Stunden, Material 4 Sklerotien von *Badhamia* auf Hebern wie in Versuch 1 angebracht.

Eine Glocke, mit mehrfacher Lage feuchten Filtrierpapiers ausgekleidet, schloss die Anordnung nach aussen ab. Auch den Boden bedeckte feuchtes Filtrierpapier. Bei der so erzielten Dampfspannung von 95% wanderten die Plasmodien durchschnittlich 3,4 cm aufwärts und 1,8 cm abwärts. Der Versuch wurde bei konstanter Temperatur von 19 C wiederholt. Die übrigen Bedingungen waren dieselben. 5 Plasmodien wanderten aufwärts, 3 abwärts.

Versuch 4. Im Thermostat bei einer Temperatur von 23 C, Versuchsdauer 24 Stunden, Material 4 Sklerotien von *Badhamia*, Versuchsanordnung wie in Versuch 1. Durch Auskleiden des Thermostaten mit feuchtgehaltenem Filtrierpapier wurde eine Dampfspannung von 94% hergestellt. Dabei breiteten sich 3 Plasmodien durchschnittlich 3,8 cm nach oben und ebensoviel nach unten aus. Das 4. Plasmodium breitete sich gar nicht aus.

So schien nach den bisherigen Erfahrungen alles dafür zu sprechen, dass die Luftfeuchtigkeit von massgebender Bedeutung für den Rheotropismus sei, dass in trockener Luft sich irgend ein Unterschied zwischen dem oberen und dem unteren Ende des Hebers ausbilde, der in feuchter Luft nicht besteht. Da nachgewiesen war, dass es sich um Differenzen im Wassergehalt nicht handeln kann, so war etwa an Temperaturdifferenzen zu denken. Allein es wurde häufig eine Erfahrung gemacht, die mit den bisherigen Erfahrungen in auffallendem und unlösbar Widerspruch steht. Lässt man die Heber bei rheotropischen Versuchen nicht frei herabhängen, sondern legt sie schräg gestellten Glasplatten auf, so bemerkt man nicht selten, dass Plasmodien sich auf die Unterseite des Filtrierpapiers begeben, also in den völlig wassergesättigten Raum zwischen Glasplatte und Filtrierpapier. Und an dieser Stelle klettern sie weiter in die Höhe.

Versuch. In einer rechteckigen Kuvette befindet sich Wasser. Die Filtrierpapierheber von 2 cm Breite liegen mit dem etwa 18 cm langen Aussenschenkel einer Glasplatte an. In 12 cm Abstand vom Rand der Kuvette werden abends 2 Plasmodien auf Filtrierpapier und ein Sklerotium, das im Auskriechen begriffen ist, auf der Unterseite der Heber angebracht. Am andern Morgen sind die Plasmodien 5 und 4 cm hoch geklettert, das aus den Sklerotien gekrochene 2 cm hoch. Das eine Plasmodium erreicht am nächsten Morgen den Rand des Wassers. Das andere wird umgedreht, sodass es auf der Aussenseite des Hebers ist. Am nächsten Morgen ist es 6 cm hoch geklettert, aber wieder auf die Unterseite des Hebers zurückgekehrt.

Auf alle Fälle war es nun von Wichtigkeit zu untersuchen, wie das Verhältnis von hydrotropischer und rheotropischer Reizbarkeit ist. Die folgenden Beispiele zeigen, dass die hydrotropische Empfindlichkeit stets grösser als die rheotropische ist: Aus sehr feuchtem Substrat liessen sich die Plasmodien nicht rheotaktisch hervorlocken. Aus sehr nass gehaltener Lohe wanderten *Fuligo* - Plasmodien nicht auf Filtrierpapierheber. Denselben Grund hat vielleicht das Versagen der Rheotaxis in folgendem Fall: In einem durch eine Glasglocke abgeschlossenen Raum befanden sich in schräg gestellter Schale mehrere *Badhamia* - Plasmodien auf feuchtem *Stereum* ausgebreitet. Enden von Filtrierpapierhebern berührten die Plasmodien. Die Plasmodien krochen wohl über die Enden hin, aber nicht an den Hebern hinauf. Zur Kontrolle wurden die Plasmodien nach 8 Stunden mit ihrem Substrat auf gereinigten Agar 1,5% gebracht. Sie verliessen nun das Substrat und breiteten sich auf dem Agar aus.

Liegt das herabhängende Ende eines Filtrierpapierhebers, auf dem Plasmodien

aufwärts wandern, einer feuchten Glasfläche an, so verlassen die Plasmodien den Heber und breiten sich auf dem Glase aus, wie schon STAHL feststellte.

Wurden nasse Filtrierpapierkugeln an horizontalen Fäden so neben den Hebern angebracht, dass sie die Heber seitlich berührten, so krochen die Plasmodien auf die Kugeln. Ebenso wurde angefeuchtetes Sägemehl bevorzugt, das locker zwischen zwei aufeinanderliegenden Filtrierpapierhebern gestreut war. Anstatt auf dem Heber aufwärts zu wandern, krochen die Plasmodien auf das Sägemehl.

Weit schwächere hydrotaktische Reize genügen schon, um der Rheotaxis entgegen zu wirken. Ein auf einem Filtrierpapierheber aufwärts wanderndes Plasmodium kann man zum Umkehren veranlassen, wenn man das Ende des Hebers, das sonst frei herabhängt, auch in Wasser tauchen lässt, und zwar soweit, dass der Wasserspiegel ungefähr 4 cm unterhalb des Plasmodiums liegt, wie folgender Versuch zeigt:

Temperatur 18 C, Versuchsdauer 18 Stunden, (trockene Glocke und Teller)
8 Sklerotien von *Badhamia* wurden auf die Mitte von Filtrierpapierhebern gelegt, deren kurze Schenkel in der üblichen Weise in Wasser tauchten, während die langen Schenkel in leere Gefässe herabhingen. Nachdem die rheotaktisch reagierenden 8 Plasmodien sich durchschnittlich 2 cm aufwärts ausgebreitet hatten, wurden die Gefässe, in die die freien Heberenden hingen, bis 4 cm unterhalb der Plasmodien mit Wasser gefüllt. Während zwei Plasmodien ihre Bewegungsrichtung beibehielten, begannen 6 Plasmodien nach 3 Stunden abwärts zu wandern. Die Plasmodien wanderten in Stromrichtung in die tiefer stehenden Gefässe mit Wasser und breiteten sich auf dem Glase unmittelbar über dem Wasser aus. 10 Plasmodien von *Badhamia* und *Puligo*, die 2-3 cm oberhalb des Wasserspiegels auf den Hebern sich befanden, zeigten dasselbe Verhalten. Dasselbe Resultat kann man auch erzielen, ohne die langen Heberschenkel in Wasser tauchen zu lassen:

Versuch vom 10.2.25. Temperatur 18° C. In eine mit Wasser gefüllte Schale unter einer Glasglocke wurde ein Becherglas auf einen Glasuntersatz gestellt. Über den Rand des Glases hingen 16 cm lange, 1,8 cm breite Enden von Filtrierpapierhebern, deren äusserste Enden an dem Glasuntersatz hafteten, ohne in Wasser zu tauchen. 5,5 cm oberhalb des Wasserspiegels wurden Sklerotien von *Badhamia* (Quadrate von 0,5 cm Seitenlänge) auf die Heber gelegt. Nach 24 Stunden hatten sich 5 Plasmodien durchschnittlich 1,6 cm aufwärts und 0,3 cm abwärts ausgebreitet. Ein Sklerotium breitete sich nicht aus. Nun wurde die Glocke, die die Versuchsanordnung nach aussen abschloss, abgehoben, da sich in dem abgeschlossenen Raum nicht erhebliche Dampfspannungsdifferenzen ausbilden konnten. 16 Stunden nach Abheben der Glocke waren alle 5 Plasmodien durchschnittlich 2,7 cm abwärts gewandert, ein einziges Plasmodium gleichzeitig 1,9 cm aufwärts. In drei Versuchen mit einzelnen Plasmodien von *Badhamia* wurde schon ein Abwärtswandern der Plasmodien auf frei über Wasser herabhängenden Filtrierpapierhebern beobachtet, obgleich durch eine übergestülpte Glasglocke für teilweisen Ausgleich der Luftfeuchtigkeit gesorgt war.

Nur eine Bestätigung der letzten Resultate geben die zwei folgenden Versuche die in anderer Weise ausgeführt wurden: Ein Gefäss mit Wasser wurde ohne Verdunstungsschutz aufgestellt. Über den Glasrand wurden zwei cm breite Filtrierpapierheber gehängt. Farbstoffkörnchen zeigten einen schwachen Strom in den Hebern an. 10 cm der langen Heberschenkel vom Glasrand an abwärts waren der Zimmerluft (Dampfspannung ungefähr 70%) ausgesetzt. Das Ende der Heber (14 cm) umschlossen Gefässe, in denen die Luft annähernd dampfgesättigt war. Diese parallelwandigen Gefässe (9 cm hoch, 4 mal 2 cm weit) waren bis auf eine freigelassene Wand, der das Heberende anlag, mit vielfacher Lage feuchten Filtrierpapiers ausgekleidet. Bis auf einen 1-2 mm weiten Spalt für den Heber waren die Gefässe oben durch aufge kittete Objektträger verschlossen, deren Unterseite ebenfalls feuchtes Filtrierpapier bedeckte. Die Plasmodien wurden auf den Hebern an der Grenze der in feuchter und trockener Luft gehaltenen Teile angebracht.

Versuch 1. Konstante Temperatur 22 C, Versuchsdauer 16 Stunden, Material 8 Plasmodien von *Puligo*: 3 Plasmodien wanderten abwärts auf den in feuchter Luft gehaltenen Heberteil, von dort zum grössten Teil auf das Glas, dem das Heberende anlag; 3 Plasmodien breiteten sich gleichmässig aufwärts und abwärts

aus.

Kontrollversuch: Auf Hebern, deren lange Schenkel in einem trockenem Gefässe endeten, wanderten 2 Plasmodien stromaufwärts.

Eine Wiederholung des Versuchs ergab folgendes Resultat: 3 Plasmodien wanderten abwärts, 2 abwärts und aufwärts.

Versuch 2. Temperatur 24°C , Dampfspannung 55%, Versuchsdauer 21 Stunden. Material 8 Plasmodien von *Puligo*, Wasserverbrauch eines Hebers 6 ccm während des Versuches. Die Versuchsanordnung entsprach Versuch 1 bis auf folgende Abweichung: 4 der Heber nur 1 cm breit hingen frei in die Mitte der feuchtgehaltenen Gefässe herab, die entsprechend durch 2 Deckgläschen bis auf einen mittleren Spalt verschlossen wurden.

Alle Plasmodien wanderten abwärts, auf den frei herabhängenden Hebern bis zum kussersten Ende derselben; von den den Gefässen anliegenden Hebern aus zum Teil auf das Glas.

Kontrollversuch: Auf einem Heber, dessen langer Schenkel sich nur in trockener Luft befand, wanderte ein Plasmodium aufwärts (6,5 cm). An der Grenze der in feuchter und trockener Luft gehaltenen Heberstücke wirken auf das Plasmodium gleichzeitig Strömung und ihr entgegen ein Dampfspannungsgefälle. Der hydrotaktische Reiz der feuchten Luft überwiegt. Das Plasmodium wandert abwärts. Wie Versuch 2 zeigt, wird die Heberwirkung vollständig ausgeschaltet, sobald die Dampfspannungsdifferenz genügend gross ist. Die wirksame Differenz muss erheblich geringer sein als der Dampfspannungsunterschied der trockenen und feuchten Luft, da Diffusion und Verdunstung des Hebers die Differenz verringern.

Wenn diese Erscheinungen auch eine starke positive Hydrotaxis beweisen, so geben sie doch keinen zahlenmässigen Aufschluss über die Grenze der Empfindlichkeit. Zur Feststellung der Reizschwelle war das Verhalten der Plasmodien gegenüber geringen Dampfspannungsdifferenzen von bekannter Grösse zu prüfen. Das feuchte Substrat der Plasmodien musste bei den Versuchen möglichst ausgeschaltet werden. In sehr feuchter Luft breiten sich die Plasmodien auch auf trockenem Glase aus, wie bei den rheotaktischen Versuchen öfters bemerkt wurde.

Zunächst wurde untersucht, bei welchen Dampfspannungen das der Fall ist. Zu diesem Zweck wurden angefeuchtete Sklerotien in eine feuchte Kammer über Zuckerrösung gebracht und die Ausbreitung der Plasmodien beobachtet. Durch Wahl verschiedener Konzentrationen wurde die Dampfspannung in dem Luftraum über der Lösung variiert. Benutzt wurden folgende Konzentrationen, für die die relative Dampfspannung nach WALTER (Protoplasma und Membranquellung bei Plasmolyse S. 174) angegeben ist. Der Wert für $1/8$ m-Rohrzuckerlösung wurde interpoliert.

	Wasser	relative Dampfspannung
		1,000
$1/8$ m Rohrzuckerlösung		0,998
$1/4$ m	"	0,995
$1/2$ m	"	0,990
1 m	"	0,974

Mit den Lösungen wurden kleine Behälter gefüllt, die durch Aufkitten eines Glasrings (1,5 cm Weite, 0,9 cm Höhe) auf einen Objektträger hergestellt waren. Ein mit Vaseline befestigtes Deckglas schloss diese Gefässe luftdicht ab. Auf der Unterseite des Deckglases haftete ein Sklerotium von *Badhamia*, das zuvor von seiner Filtrierpapierunterlage befreit und mit wenig Wasser angefeuchtet worden war. Nach ein bis zwei Tagen hatten sich aus den Sklerotien Plasmodien entwickelt. Über jede Konzentration wurden zwei Plasmodien gebracht.

Ausbreitung der Plasmodien über Rohrzuckerlösung über Leitungswasser

	1 m	$1/2$ m	$1/4$ m	$1/8$ m	$1/10$ m	
nach 24 Std.	-	-	+	+	+	+
" 48 "	-	-	+	+	+	+

Die mit bezeichneten Plasmodien hatten sich ausgebreitet. Ein Parallel-

versuch, bei dem die Sklerotien, je zwei, in die Zuckerlösung hineingelegt wurden, brachte gleichsinnige Resultate. In Lösungen von $1/4$ m, $1/8$ m und $1/10$ m entwickelten sich Plasmodien aus den Sklerotien, während in $1/2$ m und 1 m die Sklerotien unverändert blieben. Das spricht dafür, dass die osmotische Saugkraft der Zuckerlösung ebenso entwicklungshemmend wirkt wie die Dampfspannungs-erniedrigung der Luft, die sie hervorruft.

Auffallend ist, dass mehrstündiges Einquellen der Sklerotien in Wasser hemmt. Zwei Sklerotien haben sich nach zwei Tagen nicht über $1/4$ m und in $1/4$ m entwickelt. Die Plasmodien scheinen sich dann erst auf die höhere Saugkraft einstellen zu müssen.

Aus diesen Versuchen geht schon hervor, dass die Ausbreitung der Plasmodien durch eine relative Dampfspannung von 0,990 auf trockenem Substrat gehemmt wird, während sie durch 0,995 noch nicht beeinträchtigt wird, dass die Plasmodien also auf sehr geringe Dampfspannungsdifferenzen reagieren. Es genügen aber schon geringe Dampfspannungsunterschiede, um positive Hydrotaxis auszulösen. Den Nachweis brachten folgende Versuche.

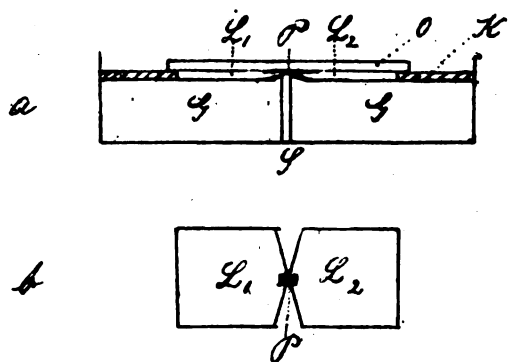


Fig. 1.

S Scheidewand, G Gelatine, L_1 , L_2 Lufträume, K Karton, O Objektträger, P Plasmodium.

ger, seitlich durch den Karton und nach unten durch die Gelatine abgeschlossen werden. An dem Objektträger haftet in der Mitte ein wenig angefeuchtetes Sklerotium von *Badhamia*, sodass es gerade die Scheidewand zwischen den beiden Lufträumen unterbricht. Das sich auf dem Objektträger ausbreitende Plasmodium grenzte so an beide Lufträume. Es war einer Dampfspannungsdifferenz ausgesetzt. Denn rechts von der Scheidewand herrschte eine andere Dampfspannung als links entsprechend der verschiedenen Zuckerkonzentration in den beiden Schalenhälften.

Um Temperaturschwankungen zu vermeiden, wurden die Versuche in einem Thermostaten angestellt. Trotzdem war meist ein leichtes Anlaufen des Objektträgers über dem Luftraum mit höherer Dampfspannung zu beobachten.

Folgende Übersicht zeigt die Ausbreitung der sich aus den Sklerotien entwickelnden Plasmodien.

Temperatur im Thermostaten 23 C.

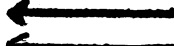
Ausbreitung d.

Plasmodien n.

14 - 16 Std.

Relative Dampfspannung.

	1,000/0,990	1,000/0,995	1,000/0,995	1,000/0,998	0,995/0,990
Plasmodium 1.	←	←	←	←	←
" 2.	←	←	←	←	←
" 3.	←	←	←	←	←
" 4.	←	←	←	←	←
" 5.	←	←	←	←	←
" 6.	←	←	←	←	←

Ausbreitung d. Plasmodien n. 14-16 Std.		Relative Dampfspannung.				
		1,000/0,990	1,000/0,995	1,000/0,995	1,000/0,998	0,995/0,990
Plasmodium	7.				0	0
"	8.				0	0
"	9.				0	0
"	10.				0	0

Wie die Tabelle zeigt, reagieren die Plasmodien selbst auf eine Dampfspannungsdifferenz von 0,002 noch positiv hydrotaktisch.

Blicken wir auf die Versuche dieses Abschnittes zurück, so müssen wir als wichtigstes Resultat wohl das betrachten, dass die Hydrotaxis weit stärker ist als die Rheotaxis. Die Plasmodien reagieren auf überraschend geringe Unterschiede in der relativen Dampfspannung der Luft und begeben sich nach der feuchten Seite. So kann man die rheotaktische Aufwärtsbewegung stets verhindern, wenn man einem Plasmodium die Möglichkeit gibt, durch Abwärtsbewegung in einen Raum mit grösserer Luftfeuchtigkeit zu gelangen. Es läge nahe zu vermuten, dass die Rheotaxis überhaupt nichts anderes sei als Hydrotaxis, allein dagegen spricht

- 1) die Tatsache, dass auch im absolut feuchten Raum, zwischen Filtrierpapierheber und Glasplatte eine Rheotaxis auftreten kann.
- 2) dass beim gewöhnlichen rheotaktischen Versuch kein Anhaltspunkt gewonnen werden kann, wonach etwa die Feuchtigkeit nach oben hin zunimmt. Der Wassergehalt des Hebers zeigt ja oben und unten keine Differenz.

Somit müssen wir schliessen, dass es neben der Hydrotaxis wirklich noch eine Empfindlichkeit der Plasmodien für Wasserströmung gibt und unsere Aufmerksamkeit richtet sich jetzt vor allem auf die chemische Beschaffenheit des strömenden Wassers.

IV. BESCHAFFENHEIT DES WASSERS UND DES SUBSTRATS.

HRYNIEWIECKI hat bei seinen Studien über den Rheotropismus die Entdeckung gemacht, dass die chemische Beschaffenheit des Wassers von grosser Bedeutung für den Erfolg ist. Rheotropische Krümmung trat vor allem in destilliertem Wasser gut auf, in dem andererseits das Wachstum der Wurzeln stark gehemmt war. KNOP-Lösung dagegen, die das beste Wachstum ergab, brachte keine Krümmungen hervor. Zusatz von verschiedenen Salzen zum destillierten Wasser in einer Konzentration von etwa 0,1% hob die Krümmung auf. In schwachen Säurelösungen dagegen traten die Krümmungen noch viel besser hervor als in destilliertem Wasser, doch waren sie hier zweifellos traumatischer Natur, während in den anderen Fällen die rheotropischen Erfolge offenbar als chemotropische gedeutet werden können. Denn es muss gleichgültig sein, ob die wirksamen Moleküle durch Diffusionsbewegung auf den empfindlichen Pflanzenteil aufprallen oder durch Wasserströmung

Zunächst war daran zu denken, dass es sich bei der Rheotaxis der Plasmodien um eine Chemotaxis auf die im Leitungswasser gelösten Salze handle.

a. Salze des Leitungswassers.

Käme Chemotaxis auf die Salze im Leitungswasser in Betracht, so dürfte ein Strom destillierten Wassers keine Reaktion auslösen. Wie aber CLIFFORD bereits angibt, unterscheiden die Plasmodien destilliertes und Leitungswasser nicht. Folgende Versuche bestätigen CLIFFORDS Angabe:

Versuch 1. Versuchsdauer 24 Stunden. Ein in sechs Teile geteiltes Sklerotium von *Badhamia* und sechs Stücke eines *Fuligo* - Plasmodiums wurden auf Filtrierpapierhebern verteilt, von denen je zwei in destilliertes, zwei in Leitungswasser, und zwei in Rohrzuckerlösung tauchten.

Ausbreitung nach 37 Std.	Rohrzuckerlösung 1/30 mal	Leitungswasser	destilliertes Wasser
<i>Badhamia</i>	↑ 7 cm	↑ 5,5 cm	↑ 6 cm
"	↑ 6,5 cm	↑ 5 cm	↑ 7 cm
<i>Puligo</i>	↑ 8 cm	↑ 4 cm	↑ 3,5 cm
"	↑ 8 cm	↑ 2,5 cm	↑ 2,5 cm
	29 5 cm	17,0 cm	19,0 cm

Der Versuch zeigt, dass ein Unterschied zwischen destilliertem Wasser und Heidelberger Leitungswasser nicht nachzuweisen ist. Wohl aber gibt Zuckerlösung eine sehr viel grössere Kriechgeschwindigkeit als Wasser. Das steht in gutem Einklang mit den Erfahrungen STAHLs, nach denen Zucker (bei STAHL freilich Traubenzucker) positiv chemotaktisch wirkt, und zeigt zugleich, dass in der Tat die Massenströmung so gut wie die Diffusion Chemotaxis auslösen kann. Versuch 2. Unter einigen Plasmodien von *Badhamia*, die auf Filtrierpapierhebern aufwärts wanderten, wurden zwei mit annähernd gleicher Kriechgeschwindigkeit ausgewählt. Während der Aufwärtswanderung der Plasmodien wurde das einen der Heber versorgende Leitungswasser durch destilliertes Wasser ersetzt, während der zweite Heber weiterhin Leitungswasser erhielt. Trotzdem blieb die Kriechgeschwindigkeit beider Plasmodien gleich.

Nach diesem negativen Resultat scheint es ausgeschlossen, die Stromaufwärtsbewegung der Plasmodien als Chemotaxis auf die Salze des Leitungswassers zu erklären. Allein damit ist die Frage nach der Bedeutung von im Wasser gelösten Stoffen für die Rheotaxis noch nicht erledigt. Es hat sich gezeigt, dass in KNOP-Lösung¹⁾ die Rheotaxis gar nicht oder schlecht erfolgt, dass Plasmodien, die in Leitungswasser gut rheotaktisch reagierten, bei Übertragung in einen Strom dieser Lösung die Aufwärtsbewegung einstellten, und umgekehrt, Plasmodien, die im KNOP-Strom keine Rheotaxis zeigten, im Strom von Leitungswasser diese sofort aufnahmen. Die Versuche sind zu gering an Zahl, um sie als ganz sicher hinstellen zu können und sie konnten aus äusseren Gründen nicht weiter verfolgt werden. Jedenfalls zeigen sie, dass der Gehalt des Wassers an gelösten Stoffen nicht gleichgültig ist und weiter studiert werden muss.

Nur dem Einfluss von Stoffwechselprodukten bin ich noch nachgegangen, weil eine Zeit lang die Vermutung mich leitete, diese könnten von Einfluss auf die Rheotaxis sein, da sie ja bekanntlich bei der Chemotaxis der Pilze eine Rolle spielen.

b. Einfluss von Stoffwechselprodukten.

Läge bei den Plasmodien der Fall vor, so liesse sich die Aufwärtsbewegung als negative Chemotaxis auf die am Hinterende sich ansammelnden Stoffwechselprodukte auffassen. Gegen diese Deutung spricht zwar das leichte Verschmelzen der Plasmodien. Um festzustellen, ob nicht vor der Verschmelzung eine Hemmung der gegeneinander kriechenden Plasmodien stattfindet, wurden Aufnahmen zweier Plasmodien gemacht, die im Begriff waren zu verschmelzen. Zu dem Zweck wurden kleine Petrischalen 1/2 cm hoch mit 1 1/2 % Agar gefüllt. Auf die Agarschicht wurden mehrere Plasmodien von *Badhamia* in 3-4 cm Abstand voneinander gebracht. Sobald sich zwei Plasmodien näherten, wurden sie bis zu ihrer Berührung in bestimmten Zeitabschnitten aufgenommen. Die Aufnahmen der Agarplatten mit den Plasmodien wurden im durchfallenden Licht vorgenommen.

1) Wasser 1000; Ca (NO₃)₂ 1; MgSO₄ 0,25, K₂HPO₄ 0,25; KCl 0,12.

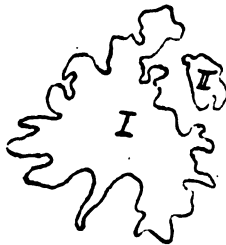


Fig. 2.

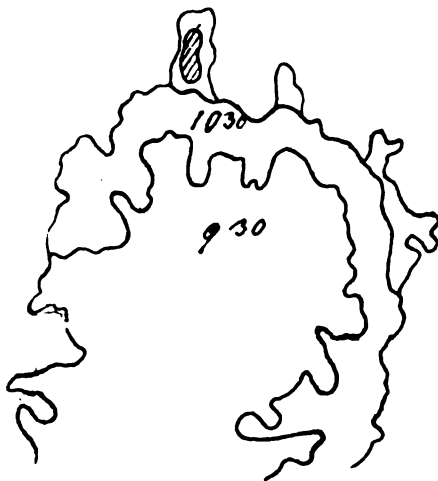
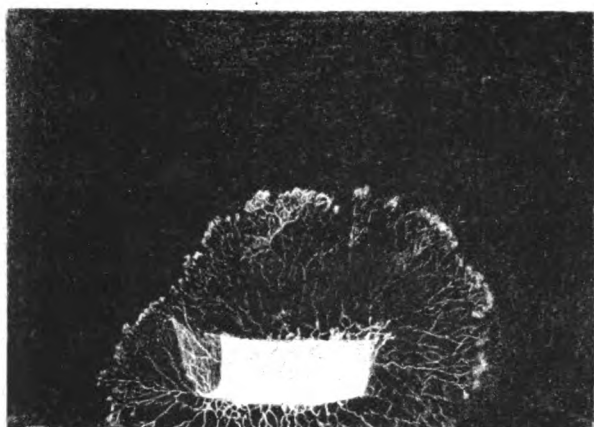


Fig. 3.

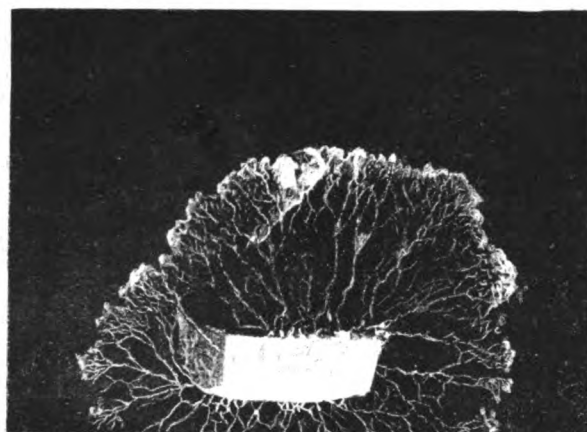
Abb. 2 a-c zeigt Umrisszeichnungen zweier *Fuligo* - Plasmodien, hergestellt nach Aufnahmen, die in Zeitabständen von je 1/2 Stunde gemacht wurden. In diesem Fall wurde einem ausgebreiteten Plasmodium I ein erst wenig ausgebreitetes Plasmodium 2 in den Weg gelegt. Der Vorderrand eines sich vorwärts bewegendes Plasmodiums scheint danach nicht abstossend auf ein anderes zu wirken. Wie verhält sich nun aber das Hinterende? Durch Anhäufung der Stoffwechselprodukte könnte hier die Wirkung so verstärkt werden, dass das Plasmodium doch negativ chemotaktisch reagiert. In folgender Weise wurde gleichzeitig die Wirkung des Vorderrandes und Hinterendes eines Plasmodiums auf ein anderes geprüft. Es wurden dazu zwei *Fuligo* - Plasmodien benutzt. Ein nur nach einer Seite auf Agar ausgebreitetes Plasmodium I hatte im Vorwärtskriechen einen Bogen gebildet, sodass sein Vorderrand sich der eignen, bräunlichen Ausgangsstelle näherte. Ein Filtrierpapierstück mit einem zweiten Plasmodium 2 wurde zwischen Ausgangsstelle und Vorderende des Plasmodiums I gelegt je 0,5 cm von jedem entfernt. Die unregelmässigen Ausbreitungen des zweiten Plasmodiums erreichten das Hinterende des ersten Plasmodiums schon, während sie vom Vorderrand noch 2 mm entfernt waren. Sofort verschmolz das Hinterende des Plasmodiums I mit Plasmodium 2.

Ebenso verschmolzen Plasmodien mit Klümpchen anderer Plasmodien. Wird ein Plasmodium von *Fuligo* unter Wasser von Lohe gelöst und auf Agar gebracht, so breitet es sich aus bis auf einen bräunlichen Rest, der an der Ausgangsstelle liegen blieb. Wurden solche Klümpchen, in denen angehäuften Stoffwechselprodukte vermutet wurden, einem sich ausbreitenden Plasmodium in den Weg gelegt, so schien eher eine Anlockung als abstossende Wirkung von ihnen auszugehen, wie Abb. 3 zeigt. Die Umrisse zeigen den fortschreitenden Rand zweier Plasmodien. Der in den Weg gebrachte Plasmodiumrest ist schraffiert.

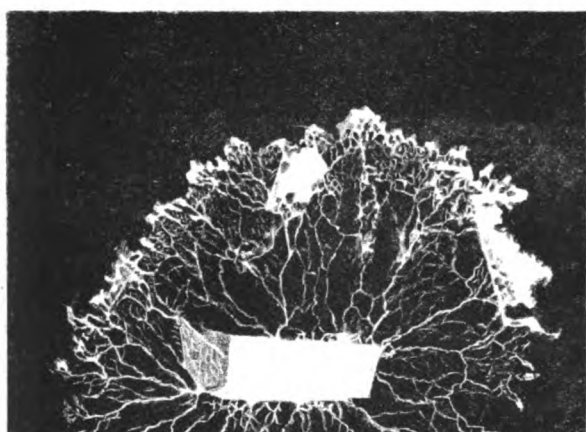
Kriecht ein Plasmodium tagelang auf einem kleinen Filtrierpapierstück umher, so hinterlässt es Spuren, ebenso wird die Oberfläche einer Agarplatte eigentümlich durch sie verändert. Das schien darauf zu deuten, dass Stoffwechselprodukte im Substrat zurückbleiben und gab Veranlassung, dieses Substrat auf chemotaktische Wirksamkeit zu untersuchen. Auf 1 1/2% Agar ausgebreiteten *Fuligo* - Plasmodien wurden Filtrierpapier- und Agarstücke mit Plasmodienspuren in den Weg gelegt. In drei Versuchen hemmen diese Hindernisse die Ausbreitung des Plasmodiums gar nicht. Einen der Versuche geben die Aufnahmen Abb. 4 a - e wieder. Die Aufnahmen a - d wurden in Abständen von 1 Stunde 20 Minuten gemacht, 2 1/2 Stunden später die letzte Aufnahme. Ein auf das Plasmodium gefallenes Agarstückchen hindert an einer Stelle die Ausbreitung.



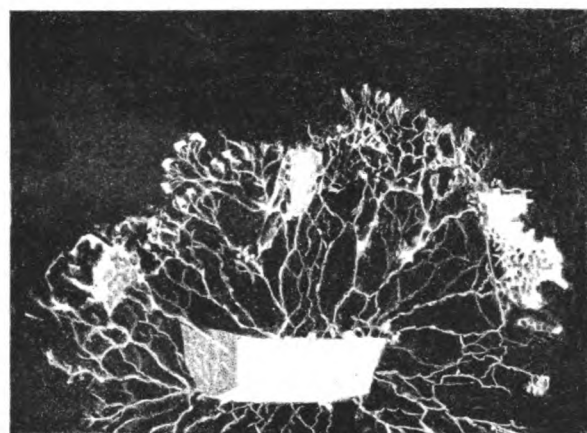
a.



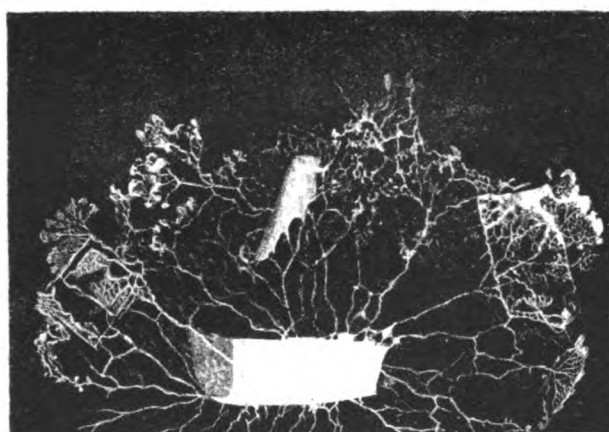
b.



c.



d.



e.

Fig. 4.

Entsprechend wurde einem auf einem Filtrierpapierheber stromaufwärts wandernden *Fuligo* - Plasmodium ein Filtrierpapierstück mit *Fuligo*- Spuren, 0,5 cm vom Vorderende entfernt, in den Weg gelegt. Eine geringe Hemmung schien das Filtrierpapierstück auf das aufwärts wandernde Plasmodium zu üben. Während das Plasmodium vor dem Auflegen des Filtrierpapierstückes sich nur auf einer Seite des Hebers ausgebreitet hatte, breitete es sich jetzt auf beiden Seiten des Hebers aus. Es wanderte zwar weiterhin stromaufwärts, auch über das ihm in den Weg gelegte Filtrierpapierstück, zum grössten Teil aber auf der freien Seite des Hebers. Schliesslich wurde auch untersucht, ob das den Heber durchströmende Wasser vielleicht mit Stoffwechselprodukten des Plasmodiums angereichert wird. Wäre das der Fall, so ist anzunehmen, dass Wasser, das schon über ein Plasmodium gegangen ist, schwächer wirkt als reines Leitungswasser. Die Wirkung reinen und über ein Plasmodium geströmten Wassers auf ein Plasmodium wurde verglichen: Filtrierpapierheber wurden paarweise über ein parallelwandiges Gefäss mit Wasser gehängt, sodass je zwei zusammengehörige einen Abstand von 0,5 cm voneinander hatten. Quer über die gestützten Enden eines solchen Paares Heber ist ein auf Filtrierpapier ausgebreitetes *Fuligo* - Plasmodium gelegt. Nun wurde 4 cm oberhalb dieses Plasmodiums auf einen der beiden Heber ein zweites Plasmodium gelegt. So wirkte auf das untere Plasmodium gleichzeitig Wasser, das schon über ein Plasmodium gegangen war, und reines Leitungswasser.

Zwei Versuche mit *Fuligo* - Plasmodien bei konstanter Temperatur 21 C ausgeführt, ergaben folgendes Resultat: 4 Plasmodien wanderten auf die Filtrierpapierheber, auf denen sich bereits Plasmodien befanden; 3 Plasmodien wanderten auf die von Plasmodien freien Heber; 2 Plasmodien teilten sich und wanderten auf die besetzten, teils auf die freien Heber.

Danach übt Wasser, das schon über ein Plasmodium gegangen ist, auf ein zweites Plasmodium dieselbe Wirkung wie reines Leitungswasser.

Schliesslich wurde noch die Möglichkeit einer chemotaktischen Reizbarkeit durch gasförmige Stoffwechselprodukte, also vor allem Kohlensäure, in Betracht gezogen. Um Kohlensäure unmittelbar auf einen eng begrenzten Teil eines stromaufwärts wandernden Plasmodiums wirken zu lassen, wurde ein Kohlensäurestrom aus verengter Glasröhre gegen die Rückseite eines 4 cm breiten Filtrierpapierhebers geleitet, auf dessen Vorderseite sich ein Plasmodium befand. Ein Strom, der 4 Blasen pro Minute lieferte und 50 Minuten lang wirkte, veranlasste nur Knotenbildung, die nach einigen Stunden wieder ausgeglichen wurde. Ein noch stärkerer Strom bewirkte zwar eine Kontraktion des Plasmodiums, aber keine dauernde Schädigung. Nach vier Stunden hatte das Plasmodium wieder die ursprüngliche Form angenommen. Schwächere Ströme von 60 Blasen im ganzen hatten keinen Erfolg. Die Kohlensäure und andere Stoffwechselprodukte der Plasmodien können also den Rheotropismus nicht erklären.

e. Filtrierpapier.

Es ist nun noch zu untersuchen, ob etwa das Substrat eine Rolle bei der Rheotaxis spielt. Alle Autoren haben mit Vorliebe Filtrierpapier als Unterlage genommen, weil dieses sich physikalisch so besonders zu solchen Versuchen eignet. Es ist aber nicht ausgeschlossen, dass vom Filtrierpapier ein chemischer Einfluss ausgeht. Nachdem FITTING (1925) gezeigt hat, dass die gebräuchlichen Filtrierpapiere Stoffe unbekannter Art enthalten, die bei *Vallisneria* Protoplasmaströmung auslösen, musste man daran denken, dass diese Stoffe auch auf die Bewegung der Plasmodien von Einfluss sein können. Allein schon STAHL hat beobachtet, dass in wasserdurchströmten Zwirnfäden und Leinwandstreifen ein Aufwärtsklettern der Plasmodien stattfindet. Diese Beobachtungen konnten für Streifen von Leinwand, Baumwolle und auch Seidenstoff bestätigt werden. Es ist wenigstens für die Seide nicht anzunehmen, dass in ihr ähnliche Stoffe vorhanden sein könnten, wie in Filtrierpapier. Da zudem Filtrierpapier, das Plasmodien auf Tomunterlage oder auf reinem 2% Agar einseitig genähert wird, keinerlei chemotaktische Wirkung erkennen lässt, so muss man wohl die Vermutung, dass im Filtrierpapier enthaltene Stoffe die Rheotaxis veranlassen,

fallen lassen.

Immerhin war der Versuch von Interesse, Plasmodien auf Agarplatten oder Platten von gebranntem weissen Ton rheotaktische Bewegungen ausführen zu lassen. Auf solchen Unterlagen lässt sich aber, wenn sie senkrecht gestellt werden und oben etwa durch einen kapillaren Glasheber mit Wasser versorgt werden, kein Strom herstellen, der so im Substrat verläuft wie bei Filtrierpapier. Vielmehr sieht man immer einzelne kleine Bäche auf der Oberfläche des Substrates mit verhältnismässig grosser Geschwindigkeit herablaufen, während Stellen unmittelbar daneben trocken aussehen. Es lassen sich nun meistens weder auf Agar, noch auf Ton rheotaktische Bewegungen erzielen, vielmehr tritt eine Zusammenziehung der Plasmodien ein, ähnlich wie das S. 4 für grosse Wassergeschwindigkeiten beschrieben wurde. Man wird kaum fehl gehen, wenn man annimmt, dass auch auf dem Ton die Strömung des Wassers das Plasmodium zu stark trifft. Immerhin ist es bei folgender Versuchsanordnung gelungen, Rheotaxis auch auf einer Tonplatte zu erzielen.

Versuch. Eine Tonplatte, die völlig mit Wasser durchtränkt ist, wird fast horizontal gelegt (sie bildet mit der Horizontalen etwa einen Winkel von 150°); am oberen Ende tropft aus einem Kapillarheber, der aus einem konstanten Niveau gespeist wird, 7 Tropfen später $3\frac{1}{2}$ Tropfen in der Minute ($5,0 - 2,5$ cbcm in der Stunde). Es entsteht ein langsamer Wasserstrom, der etwa einen cm breit auf der Tonplatte sichtbar ist und der unten (zur Vermeidung einer Wasseransammlung) durch einen Filtrierpapierstreifen abgeleitet wird. Ein Plasmodium verlässt schon nach 2 Stunden das Fliesspapier und ist in 5 Stunden etwa 1 cm gegen den Strom gekrochen; es setzt die Nacht hindurch und den nächsten Tag seine Wanderung in gleichem Sinne fort, im ganzen ist es bei Abbruch des Versuches 8 cm weit gekrochen.

Fasst man die in diesem Abschnitte mitgeteilten Tatsachen zusammen, so kommt man zu dem Resultat, dass weder die im Wasser gelösten Stoffe, soweit sie bis heute untersucht sind, noch die Stoffwechselprodukte der Plasmodien, noch lösliche Stoffe des Filtrierpapiers die Rheotaxis veranlassen. Wie aber schon bemerkt, sind die Untersuchungen noch lückenhaft: weitere Studien über gelöste Stoffe, vor allem H-Jonen sind notwendig.

V. THERMOTAXIS.

Thermotaktische Reizbewegungen der Plasmodien sind schon von STAHL, WORTMANN CLIFFORD und AYERS gefunden worden. Nach STAHL zeigten auf feuchtem Filtrierpapier ausgebreitete *Fulligo*-Plasmodien, die teils in Wasser von 7°C , teils in Wasser von 30°C tauchten, positive Thermotaxis. Oberhalb 33°C (CLIFFORD, nach WORTMANNs Angaben 36°C) geht die positive in negative Thermotaxis über. Für uns hier kommt nur die Temperaturempfindlichkeit der Plasmodien bei mittlerer Temperatur in Betracht. Während WORTMANN die Thermotaxis auslösende Temperaturdifferenz nur auf 15°C einschränkt, ging CLIFFORD weiter herunter. Er brachte die Plasmodien in den Mittelteil eines dreiteiligen Kastens, dessen Seitenteile einerseits Wasser von $16 - 18^\circ\text{C}$, andererseits Wasser von $25 - 28^\circ\text{C}$ enthielten. Dieser Temperaturunterschied löste positive Thermotaxis aus.

Dass aber damit die Reizschwelle noch nicht erreicht ist, konnte auf verschiedene Weise ermittelt werden. Zuerst wurde folgende Versuchsanordnung gewählt. In einem allseitig durch Glasplatten abgeschlossenen Raum wurden zwei fast bis zum Rande mit Wasser gefüllte Schälchen dicht nebeneinander gestellt. Ein 1,5 cm breiter Filtrierpapierstreifen wurde so über beide Schälchen gebreitet, dass er in jedem Schälchen auf dem Wasser schwamm. Von der Mitte des Streifens breitete sich ein Plasmodium nach beiden Seiten hin aus. Auf dem das Wasser nur berührenden Streifen lässt sich die Ausbreitung des Plasmodiums mittels Bleistiftmarken auf dem Filtrierpapier kontrollieren. Taucht dagegen das Filtrierpapier mit dem Plasmodium tiefer in das Wasser, so löst sich das Plasmodium teilweise von der Unterlage, treibt Fortsätze in das Wasser, sodass sich nur starkes An- oder Abswellen des sich verästelnden Plasmodiums beobachten

lässt.

Die Glasplatte, auf der die beiden Schälchen standen, hatte eine Öffnung, sodass ein Schälchen von unten mittels eines Flämmchens erwärmt werden konnte. In den ersten Versuchen war bei einer Temperaturdifferenz von $7,5^{\circ}\text{C}$ und 6°C in den beiden Schälchen nach $1-1\frac{1}{2}$ Stunden nach Beginn der Erwärmung das Anschwellen der stärker erwärmten und Entleerung der kühler gehaltenen Teile sehr deutlich. Eine schwächere positive Thermotaxis konnte selbst bei einer Temperaturdifferenz von 3°C noch festgestellt werden, wie der mit dem gleichen Resultat zweimal ausgeführte Versuch vom 21. III. 24. zeigt.

Zimmertemperatur 18°C , Temperatur des Wassers (nach Beendigung des Versuches gemessen) im erwärmten Schälchen 1 : $27,5^{\circ}\text{C}$, im Schälchen 2 : $24,5^{\circ}\text{C}$. Dauer des Versuches $2\frac{1}{2}$ Stunden. Ein *Badhamia* - Sklerotium wurde 14 Stunden vor Versuchsbeginn auf die Mitte des Filtrierpapierstreifens gebracht, der über Schälchen 1 und 2 gelegt. Das Plasmodium breitet sich gleichmässig aus, sodass es die in Schälchen 1 und 2 tauchenden Hälften des Filtrierpapierstreifens je $1,5\text{ cm}$ weit bedeckte. In $1\frac{1}{2}$ Stunden nach Beginn der Erwärmung schwillt der im wärmeren Wasser befindliche Teil des Plasmodiums etwas an, auf Kosten des Teiles im kühleren Wasser. Nach $2\frac{1}{2}$ Stunden ist das Plasmodium auf dem Filtrierpapier im warmen Wasser mehrere mm vorgerückt und deutlich angeschwollen. Ein in das Wasser herabhängendes Plasmaklumpchen von $1-2\text{ mm}$ Durchmesser ist zu einem Fortsatz von $0,5\text{ cm}$ Breite geworden. Gleichzeitig ist eine Entleerung des im kühleren Wasser befindlichen Teiles wahrzunehmen. Danach genügen 3°C Temperaturdifferenz schon zur Auslösung positiver Thermotaxis.

Um die Temperaturdifferenz feiner abzustufen zu können, zeitlich und örtlich genauer zu begrenzen, wurde die Versuchsanordnung geändert.

Es wurde zur lokalen Erwärmung die JOULEsche Wärme ausgenutzt, die ein Drahtstück eines Stromkreises entwickelt. Strom lieferte ein Akkumulator. Eine Petrischale wurde bis 2 mm unterhalb ihres oberen Randes mit 2% Agar gefüllt. Auf den Agar wurde ein Sklerotium von *Badhamia* gelegt. Dann wurde die Schale durch eine Glasplatte mittels Paraffin verschlossen. In diese Glasplatte war ein Loch von 1 cm Durchmesser gebohrt, auf das ein Aluminiumblech gekittet war. Eine flach gewundene Kupferdrahtspirale gab JOULEsche Wärme an das Aluminium ab. Durch Watteumbüllungen wurden Wärmeschwankungen der Umgebung ausgeschaltet.

Versuch 1. Dauer 1 Stunde, Temperaturdifferenz $2,8^{\circ}\text{C}$. Ein Sklerotium von *Badhamia* vor Versuchsbeginn auf das Agar gelegt. Das Plasmodium zeigt nach der Erwärmung deutliche Ablenkungen nach der erwärmten Stelle hin.

Bei einer Temperaturdifferenz von $1,9^{\circ}\text{C}$ behielt das Plasmodium in zwei Versuchen seine ursprüngliche Richtung bei.

Die Reizschwelle ist somit etwa zu 3°C bestimmt. Sie liegt nach diesen Versuchen erheblich tiefer als bisher angenommen wurde.

Es fragt sich nun, ob Temperaturdifferenzen von ähnlicher Grösse in Filtrierpapierhebern vorkommen. Es wurden sog. Hautthermometer, in einigen Fällen auch Thermoindikatoren dem oberen und unteren Ende eines Hebers angelegt. Es zeigte sich, dass Temperaturdifferenzen nur dann nachweisbar sind, wenn Luft und Wasser solche zeigen, sodass also das Wasser während seines langsamen Abwärtsströmens entweder sich erwärmt oder abkühlt. In konstanter Temperatur fehlen solche Differenzen. An sich hätte man sie wohl erwarten können, da ja das feuchte Filtrierpapier bei Wasserabgabe sich abkühlen muss.

Nach allem was beobachtet wurde, muss man sagen, dass Thermotaxis bei der Rheotaxis nicht beteiligt sein kann.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE.

- 1) Geotaxis ist bei Plasmodien nicht nachzuweisen.
- 2) Bei der Rheotaxis spielt die Geschwindigkeit der Strömung eine grosse Rolle, insofern als stärkere Ströme von der Grössenordnung, wie sie bei Wurzeln rheotropische Bewegungen auslösen, nur zu Zusammenballung der Plasmodien und Loslösung vom Substrat führen. Eine Wassergeschwindigkeit im Filtrierpapier von $1-2\text{ mm pro Minute}$ ist für Rheotaxis sehr geeignet.

- 3) Die Rheotaxis kann nicht durch Hydrotaxis vorgetäuscht werden. Die Plasmodien sind freilich hydrotaktisch sehr empfindlich. Sie unterscheiden eine Dampfspannungsdifferenz von 0,002% und gehen zur feuchteren Luft. Auch sieht man, dass in ganz feuchter Luft ein Wasserstrom bei weitem nicht so gute Reaktion veranlasst, wie in trockener Luft. Allein es ist sicher gestellt, dass Plasmodien doch auch in wassergesättigter Umgebung (zwischen Glasplatte und wasserdurchströmtem Filtrierpapier) aufwärts kriechen. Auch konnte eine Zunahme des Wassergehaltes im durchströmten Filtrierpapier nicht nachgewiesen werden.
- 4) Leitungswasser und destilliertes Wasser können Rheotaxis gleich gut veranlassen. Wie weit etwa die H-Ionen des Wassers eine Rolle spielen, bleibt zu untersuchen. Stoffwechselprodukte der Plasmodien, die chemotaktisch wirken könnten, sind nicht gefunden worden. Lösliche Stoffe des Filtrierpapiers, die chemotaktisch wirken, können auch keine Rolle spielen. Plasmodie kriechen auch auf wasserdurchströmter Seide und Tonplatten gegen den Strom.
- 5) Die thermotaktische Unterschiedsschwelle wurde zu 3° C gefunden, also viel niedriger als bisher angenommen. Trotzdem kann Thermotaxis keine Rolle bei der Rheotaxis spielen.
- 6) Die Untersuchung war ausgegangen von der Überlegung, dass so schwache Ströme wie sie bei der Rheotaxis verwendet werden, schwerlich durch ihre mechanische Wirkung physiologische Bedeutung gewinnen können, zumal noch der grösste Teil des Wassers die Plasmodien gar nicht trifft, sondern im Filtrierpapier verläuft.

Es wurde geprüft, ob die Rheotaxis durch irgend eine Nebenwirkung des strömenden Wassers bedingt sein könnte. Die Resultate sind ganz negativ ausgefallen - die Plasmodien reagieren wirklich auf die Strömung. Aber diese kann ja nicht nur mechanisch, sie kann auch chemisch wirksam sein. Leider nötigten äussere Umstände zum Abbruch der Arbeit, ohne dass es möglich gewesen wäre, chemische Einflüsse weiter zu studieren.

Die Untersuchungen geben Veranlassung, auch den Rheotropismus der Wurzeln noch einmal zu studieren. Untersuchungen in dieser Richtung sind im botanischen Institut in Heidelberg in Gang.

Die Untersuchungen wurden im botanischen Institut Heidelberg unter Leitung von Herrn Professor Dr. JOST ausgeführt. Ihm und Herrn Dr. WALTER danke ich für viele Anregungen und für das Interesse, das sie meiner Arbeit entgegen gebracht haben.

ABSTRACT.

1. It has not been possible to prove geotaxis on plasmodia.
2. The speed of the current is very important to the rheotaxis, as far as stronger currents as those which effect rheotropical movements on the roots, are leading only to a conglobation of the plasmodia and a disengaging from the substratum. A speed of the current in the filtering paper of 1 - 2 mm per minute is very suitable to the rheotaxis.
3. The rheotaxis can not be mistaken for hydrotaxis. The plasmodia are hydro-tactically very sensitive indeed. They discriminate a steemtension-difference of 0,002% and move towards the humid air. It is obvious also that a current of water does not cause the same good reaction in a humid atmosphere as in dry air. But it is stated that the plasmodia creep upwards also in a water saturated environment (between glass plate and circulating water in the filtering paper). An increase of the water contents in the flown through filtering paper has not been possible to prove.
4. Tank water or distilled water may just as well cause rheotaxis. How far

by chance the H-ions are concerned, is a matter of further investigation. There have not been found any physiological products which might act chemotactically, also no soluble matter in the filtering paper. The plasmodia also creep against the current in silk or on clay plates flown through by water.

5. The thermotactical difference-stop has been found at 3 degrees, and thus is it much lower than was stated so far. The thermotaxis nevertheless has no part in rheotaxis.

6. The research proceeded from the reflection that such very low currents as are used in the rheotaxis, can hardly gain any physiological importance by their mechanical effect, particularly so as a great part of the water does not at all touch the plasmodia but takes its own course in the filtering paper.

It has been examined if the rheotaxis may be occasioned by an indirect effect of the flowing water. The results have been negative. The plasmodia really react on the current, but the latter may be effective not only in a mechanical but also in a chemical way. Unfortunately, owing to circumstances, the work had to be finished without further examination of the chemical influences.

The investigations give occasion to resume the study of the rheotropismus of the roots; Experiments in this direction are just now being made in Heidelberg.

LITERATURVERZEICHNIS.

- AYERS: Methods of Study of the Myxamoebae and the Plasmodia of the Mycetozoa.
 BARANETZKI: Influence de la lumière sur les Plasmodia des Myxomycetes, in Mém. de la Soc. des Sc. nat. de Cherbourg 1876.
 CLIFFORD: Notes on some Physiological Properties of a Myxomycete Plasmodium, in Annals of Botany 1897.
 FITTING: Untersuchungen über die Auslösung von Protoplasmaströmung, in Pringsh. Jahrb. LXIV (1925) p. 281.
 HRYNIEWIECKI: Untersuchungen über den Rheotropismus der Wurzeln, in Schriften der naturf. Ges. bei der Univers. Dorpat.
 JÖNSSON: Der richtende Einfluss strömenden Wassers auf wachsende Pflanzenteile (Rheotropismus), in Ber. d. Deutsch. bot. Gesellsch. 1883, p. 512.
 JUEL: Untersuchungen über den Rheotropismus der Wurzeln, in Prings. Jahrb. XXXIV (1900) p. 507.
 LISTER: On the Cultivation of Mycetozoa from Spores, in Journ. of Botany 1901.
 NEWCOMBE: The Sensory Zone of Roots, in Annals of Botany XVI (1902) p. 429.
 ROSANOFF: L'Influence de l'Attraction terrestre des Plasmodes des Myxomycetes, in Mém. de la Soc. des Sc. nat. Cherbourg 1868, p. 155.
 STAHL: Zur Biologie der Myxomyceten.
 STARK: Experimentelle Untersuchungen über das Wesen und die Verbreitung der Kontaktreizbarkeit, in Pringsh. Jahrb. LVII (1916) p. 239.
 WORTMANN: Der Thermotropismus der Plasmodien von Fuligo varians, in Ber. d. D. bot. Gesellsch. III (1885) p. 117.

ERKLÄRUNG.

Die im Botanischen Archiv XVII, Heft 1-3 abgedruckte Arbeit von H. HAERDTL über "Die Wirkung mechanischer Inanspruchnahme auf Bau und Biegefestigkeit der Blattstiele" ist in dem von mir geleiteten Institute und Garten ausgeführt worden. Sie geht auf Anregungen von mir zurück und enthält neben einigen brauchbaren Beobachtungen auch manches Unsichere und vom Verfasser unklar Dargestellte. Ich habe mich deshalb gegen die Veröffentlichung ausgesprochen. Herr HAERDTL hat die Arbeit dann, ohne sie mir noch einmal vorzulegen und ohne mich zu nennen, zum Druck eingereicht. Da er schon in der Prager naturwissenschaftlichen Zeitschrift Lotos, Bd. 73, 1925, einen "Beitrag zur Erklärung der Blattlage am Spross" publiziert hat, dem ich die Druckgenehmigung verweigern musste, wird der Sachverhalt hiemit klargelegt.

E. G. PRINGSHEIM.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Botanisches Archiv. Zeitschrift für die gesamte Botanik](#)

Jahr/Year: 1927

Band/Volume: [20](#)

Autor(en)/Author(s): Keferstein Marie Helene

Artikel/Article: [Untersuchungen über die Rheotaxis der Plasmodien 1-21](#)