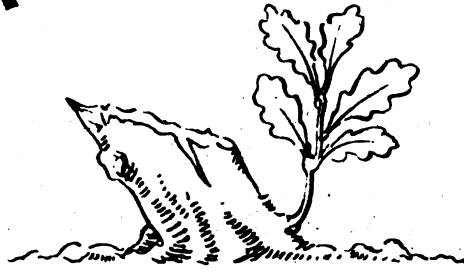


BOTANISCHES ARCHIV



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

12. BAND, HEFT 5-6 AUSGEGEBEN AM 1. DEZ. 1925

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 1925 by Carl Mez in Königsberg.

Die Abhängigkeit der Protoplasma-Strömung
von Licht und Temperatur und ihre Bedingtheit
durch andere Faktoren.

Von HERBERT BEIKIRCH (Braunschweig - Kiel).

EINLEITUNG.

Die Protoplasmaströmung in behüteten Zellen ist seit ihrer Entdeckung durch BONAVENTURI CORTI (3) im Jahre 1772 Gegenstand vielfacher Untersuchungen gewesen. Die Angaben späterer Forscher beziehen sich meist auf *Elodea*, *Vallisneria*, *Hydrocharis*, *Tradescantia*, *Chara*, *Nitella* und *Cucurbita pepo*; obwohl DE VRIES (36) feststellt, dass die meisten höheren Pflanzen Protoplasmaströmung besitzen. Allerdings ist das Bild bei den einzelnen Pflanzen verschieden. In den Staubfadenhaaren von *Tradescantia virginica* oder den grossen Haaren von *Cucurbita* sieht man die Bewegung in einem netzartigen System von Protoplasmasträngen regellos verlaufen. Diese typische Circulation ist von der Rotation, wie sie bei vielen Wasserpflanzen, z.B. *Elodea* und *Vallisneria* vorkommt, leicht zu unterscheiden. Hier ist das Protoplasma auf eine sich der Zellwandung anschmiegende Schicht beschränkt, sodass eine kreisende Bewegung dieses Wandbelags zustande kommt, die als Rotation allgemein bekannt ist. Chlorophyllkörner und sonstige feste Gebilde des Zellinhaltes, die von der Strömung mitgenommen werden, beschreiben eine in sich zurücklaufende, geschlossene Bahn.

Die Abhängigkeit der Protoplasmaströmung von äusseren Faktoren ist ebenfalls seit langem bekannt. Im allgemeinen erfolgten die Untersuchungen nicht an ganzen

Pflanzen, sondern an abgeschnittenen Pflanzenteilen. Von einer ganzen Reihe von Autoren wird darauf hingewiesen, dass dieses nicht gleichgültig ist, dass vielmehr die Protoplasma-Strömung in intakten Pflanzenteilen nicht vorhanden ist und erst durch die Präparation hervorgerufen wird. So hält KELLER (11) die Protoplasma-Strömung für eine pathologische Erscheinung, die durch alle dem Leben der Pflanze ungünstigen Bedingungen, vor allem auch Verletzungen, hervorgerufen wird. Je näher die Pflanze dem Absterben ist, desto leichter tritt die Strömung ein, die in normalem Zustande vielen lebensfähigen Zellen fehlt. HAUPTFLEISCH (7) unterscheidet eine primäre Strömung, die schon im unverletzten Pflanzenteil vor sich geht, und die man daran erkennt, dass sie sofort nach Anfertigung des Präparates sichtbar ist, und eine sekundäre, die lediglich als Reizerscheinung angesehen werden muss, da sie erst einige Zeit nach Anfertigung des Präparates beobachtet wird. KIENITZ-GERLOFF (42), der in seiner Arbeit: "Protoplasma-Strömungen und Stoffwanderung in der Pflanze" auf die Untersuchungen HAUPTFLEISCHS (7) unter Berücksichtigung früherer Arbeiten eingeht, schliesst sich dieser Meinung nicht an. Er betont, dass diese "vitalen" Vorgänge bis heute noch sehr unklar sind. KRETSCHMAR (15) spricht sich gegen die DE VRIESsche (36) Ansicht der allgemeinen Verbreitung der Strömung in Pflanzen aus und sagt, dass die Versuchspflanzen in intaktem Zustand keine Protoplasma-Strömung besitzen. Er stellt Versuche über die Schnelligkeit der Reizleitung an und kommt zu dem Schluss, dass die Schwere der Verletzung für die Strömung und die Schnelligkeit der Reizfortpflanzung eine grosse Rolle spielt. Schnittverletzungen mit Durchtrennung der Leitbündel werden als schwer, Stichverletzungen ohne Verletzung der Leitbündel als leicht bezeichnet. Auch BIERBERG (2) findet unter normalen Verhältnissen bei vielen Pflanzen keine Strömung, und LAKON (18), der mit *Elo-dea* arbeitete, sagte, dass Verletzungen aller Art eine Erweckung bzw. Beschleunigung der Rotation bewirken.

Eine Verletzung von Pflanzenteilen ist nun im Hinblick auf die Technik der Untersuchung nicht immer zu vermeiden. Jedoch ergeben schon die Beobachtungen über die Bedeutung der Temperatur, dass die Verletzung unmöglich der alleinige bestimmende Faktor sein kann. So beobachtet schon DUTROCHET (4) an Versuchen mit *Chara*, dass die Bewegung mit einer Steigerung der Temperatur zunimmt, dann aber bei + 45° C. erlischt. SACHS (31) zeigt 1864 in seinen Versuchen, dass die Strömung nur innerhalb bestimmter Temperaturgrenzen stattfindet, und dass ein Überschreiten dieser Grenzen der Tod der Zelle zur Folge hat. Nach seinen Angaben wirken bei *Vallisneria spiralis* + 50° C. in Wasser binnen 10 Minuten tödlich. Die Plasmabewegung verlangsamt sich schon von 38 - 40° C. an; den Zustand zwischen Plasmaruhe und Zelltod nennt er "vorübergehende Wärmestarre". Demgegenüber steht die "vorübergehende Kältestarre", die hoch über dem Gefrierpunkt des Zellsaftes liegt. HOFMEISTER (9) stellt fest, dass die Optimal-Temperatur für die Strömung von *Vallisneria spiralis* bei + 45° C. liegt. 1876 wurden dann von VELTEN (35) an Hand von Versuchen an *Elo-dea canadensis*, *Vallisneria spiralis* und *Chara foetida* Tabellen aufgestellt, in denen für die verschiedenen Temperaturgrade die jeweiligen Geschwindigkeiten in Sekunden für den Weg von 1/10 mm angegeben sind. Er findet z.B., dass ein Chlorophyllkorn von *Vallisneria spiralis* bei einer Temperatur von + 10° R. = 45,0 Sek., bei + 15° R. = 5,1 Sek., bei + 30° R. = 2,4 Sek. braucht, um den angegebenen Weg zurückzulegen.

Auffallenderweise hat das Licht, das im Leben der normalen Pflanze eine so grosse Rolle spielt, nach den bisherigen Untersuchungen einen ungleich geringeren Einfluss auf die Protoplasma-Strömung. Nach DUTROCHET (4) hat es weder Bedeutung für die Geschwindigkeit, noch vermag Dunkelheit die Strömung zum Stillstand zu bringen, eine Ansicht, die sich mit derjenigen HOFMEISTERS (9) deckt. Auch JOSING (40) beobachtet, "dass Protoplasma-Strömung durch anhaltende Verdunkelung im allgemeinen nur wenig beeinflusst wird", dass das Licht also einen geringen Anteil an der Bewegung hat. Eine andere Deutung der Versuche JOSINGs (10) gibt BIERBERG (2), der als Beispiel für die Kraft und Ausdauer des Lichtreizes hervorhebt, dass gewisse Agentien nicht imstande sind, im Lichte die Rotation zu sistieren, wohl aber in der Dunkelheit. Eine gewisse Bedeutung des Lichtes ist also unverkennbar. Das geht auch aus einer Mitteilung von NOTHMANN-ZUCKERKANDL (21) über den Stillstand der

Strömung in Dunkelheit hervor. Die Verfasserin stellt fest, dass nach 24 stündiger Verdunkelung *Elodea*-Strömung zum Stillstand gebracht wird, aber durch Belichten mit einer Bogenlampe in kurzer Zeit wieder hervorgerufen werden kann. Abnorm hohe Lichtintensitäten bedingen allerdings nach PRINGSHEIM (27) Lichtstarre und können den Lichttod der Zelle zur Folge haben. Auch die Versuche von SCHRÖTER (33) an *Mucorineen* weisen auf einen Einfluss des Lichtes hin. Eine Steigerung der Intensität erhöht nach seinen Angaben die Strömung bis zu einem Maximum; in Dunkelheit kommt dann die Bewegung zum Stillstand.

Bekannt ist weiter auch der Einfluss von Chemikalien auf die Protoplasma-Strömung. KÜHNE (16), der die Staubfadenhaare von *Tradescantia virginica* einem Kohlensäurestrom aussetzte, findet, dass die Bewegung nach 45 Minuten überall erloschen ist. In Luft tritt dann nach 15 Minuten wieder Strömung ein. Während KÜHNE (16) der Ansicht ist, dass es sich hier nicht um eine Wirkung der Kohlensäure an sich handelt, sondern dass das Fehlen von Sauerstoff die Ursache des Stillstandes ist, stellt LOPRIORE (19) an dem gleichen Material fest, dass diese Wirkung der Kohlensäure eine rein spezifische, nicht vom Sauerstoffmangel herrührende ist. An sich muss natürlich mit der Möglichkeit einer Unterdrückung der Strömung durch Sauerstoffmangel durchaus gerechnet werden.

Selbstverständlich muss die Protoplasma-Strömung durch chemische Agentien, welche der Pflanze schädlich sind, ebenfalls ungünstig beeinflusst werden. HAUPTFLEISCH (7) teilt diesbezügliche Beobachtungen mit. KLEMM (14) behandelt allgemein die Desorganisations-Erscheinungen an Zellen, die auftreten, wenn man Chemikalien, z.B. Säuren, Alkalien, Metallsalze oder Anilinfarbstoffe auf das Präparat einwirken lässt; er berichtet in diesem Zusammenhange auch über die Unterdrückung der Plasma-Strömung. In seiner Arbeit "Die Bedeutung der Protoplasmarotation für den Stofftransport" stellt BIERBERG (2) fest, dass sich die Giftwirkung von Chemikalien bei Haaren von Landpflanzen zuerst in der Basalzelle bemerkbar macht. Nach einiger Zeit stirbt das Haar dann langsam nach der Spitze zu ab.

Während in den bisher erwähnten Arbeiten den Chemikalien ein mehr oder minder schädlicher Einfluss auf die Strömung zugeschrieben wird, sollen nach KELLER (11) alle Agentien, die den Lebensbedingungen der Pflanze ungünstig sind, die Bewegung hervorrufen. Es ist bekannt, dass viele Giftstoffe, die in starken Konzentrationen schädlich wirken, in schwachen Konzentrationen stimulieren. Dieser Gedanke ist auch für die Protoplasmaströmung nicht ohne weiteres von der Hand zu weisen; er findet durch die Befunde LAKONs (18), wonach eine 0,005 prozentige Schwefelsäure Protoplasma-Strömung erzeugt, eine wesentliche Stütze. HAUPTFLEISCH (7) schreibt, dass Übertragen von *Elodea*-Sprossen in eine verdünnte Methylenblau-Lösung Strömung hervorruft. Die Ansichten über die Wirkung des Methylenblaus sind im übrigen umstritten. Nach SCHÄDE (32) und VAN WISSELINGH (38) ist Methylenblau auch in starker Verdünnung giftig; demgegenüber fand HAUPTFLEISCH (7) Speicherung von Methylenblau in den Zellen von *Elodea canadensis*, ohne dass die Plasma-Strömung beeinträchtigt wurde.

Angaben über die Beeinflussung der Protoplasma-Strömung durch sonstige Faktoren sind weniger von Bedeutung. Elektrische Ströme gleichen in ihren Wirkungen nach HAUPTFLEISCH (7) den Verletzungen, Druck, Stoss und anderen mechanischen Eingriffen. Schwache Ströme sind indifferent, stärkere wirken hemmend.

Wenn wir die vorstehenden Angaben über die Abhängigkeit der Protoplasma-Strömung von äusseren Eindrücken daraufhin vergleichen, welche Momente an erster Stelle für die Protoplasma-Bewegung als ausschlaggebend angesehen werden, so sind dieses Verletzung und Temperatur. Den übrigen Momenten, vor allem dem Licht, wird eine geringere Bedeutung beigemessen. Es steht daher in einem gewissen Gegensatz zu unseren bisherigen Kenntnissen, wenn in den folgenden Ausführungen der Schwerpunkt zunächst gerade auf die Bedeutung des Lichtes gelegt wird. Dass dem Licht ein gewisser Einfluss zukommt, geht ja schon aus den erwähnten älteren Beobachtungen hervor. Dieser Einfluss muss jedoch, wie im folgenden gezeigt werden wird, in ganz anderer Weise in den Vordergrund gestellt werden, als es bisher geschehen ist. Gerade die Untersuchung der Wirkung des Lichtes gibt uns erst Aufschlüsse über die Wirkung anderer Faktoren. Auf Grund der erhaltenen Ergebnisse ist überhaupt bei Pflanzen vom

Typus der *Elodea* ein Verständnis der gesetzmässigen Abhängigkeit der Protoplasma-Strömung von sonstigen Faktoren nur möglich, wenn der Einfluss des Lichtes in vollem Umfange berücksichtigt wird. Darum muss die Frage, in welcher Weise das Licht die Protoplasma-Strömung bestimmt, den Ausgangspunkt aller Untersuchungen über Wesen und Bedingtheit der Protoplasma-Strömung durch äussere Faktoren bilden.

VORVERSUCHE.

In den ersten Versuchen handelte es sich naturgemäss darum, zunächst einmal überhaupt den Einfluss des Lichtes auf die Protoplasma-Strömung festzustellen. Blätter von *Elodea densa* und *Elodea canadensis* wurden in der üblichen Weise mikroskopisch auf Protoplasma-Strömung beobachtet und die Lichtintensität durch Verwendung von drei verschiedenen Metallfadenlampen von 32, 100 und 800 Kerzen und einer Bogenlampe variiert. Der Abstand der Lichtquelle betrug gleichmässig $1/2$ Meter; das Licht wurde ohne Verwendung eines Kondensors durch den hohlgeschliffenen Spiegel des Mikroskopes auf das betreffende Blatt geworfen. Die Wirkung der Belichtung wurde dadurch festgestellt, dass die Umlaufszeit eines bestimmten Chlorophyllkornes in der Zelle nach den Schlägen einer Taschenuhr gemessen wurde. Es ergab sich eine deutliche Geschwindigkeitssteigerung mit zunehmender Belichtungsintensität.

In dem gleichen Sinne einer Abhängigkeit der Plasma-Strömung von der Belichtung sprachen dann die weiteren Versuche, in denen vorher belichtete, gute Strömung aufweisende Blätter von *Elodea* durch Überstülpen des Mikroskopes mit einem dunklen Pappsturz an Ort und Stelle, d.h. auf dem Objektisch des Mikroskopes verdunkelt wurden. Als Lichtquelle hatte eine 32 kerzige Lampe im Abstand von 30 cm gedient. Wenn man nach einstündiger Verdunkelung sofort nach dem Fortnehmen des Pappsturzes die vorher in guter Strömung befindlichen Zellen beobachtete, so war völliges Erlöschen der Strömung festzustellen. Erst, nachdem das Licht wieder einige Sekunden eingewirkt hatte, trat Strömung ein, die an Schnelligkeit rasch zunahm. Hier wirkte also das Licht unzweifelhaft auslösend auf die Protoplasma-Strömung. Der Einfluss der Temperatur erwies sich in diesen Versuchen insoweit von geringer Bedeutung, als die Protoplasma-Strömung auch bei niederen Temperaturen dann beobachtet wurde, wenn genügend belichtet wurde, während andererseits auch eine Temperaturerhöhung den Stillstand der Protoplasma-Strömung durch Lichtmangel nicht aufzuheben vermochte.

METHODISCHES.

ALLGEMEINES.

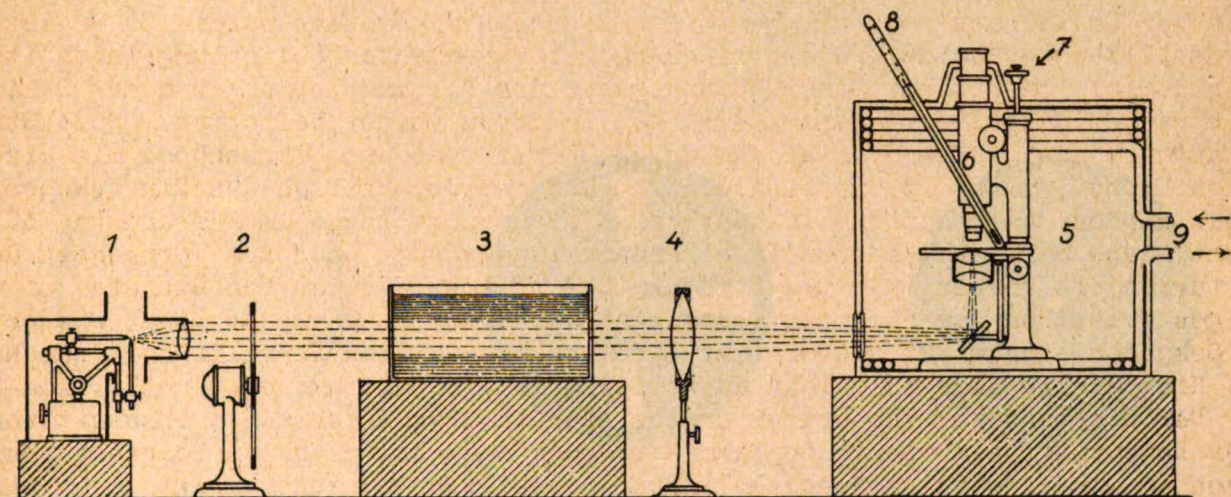
Nachdem durch die Vorversuche der hohe Einfluss des Lichtes auf die Plasma-Strömung festgestellt war, wurde in den Hauptversuchen dieser Einfluss im Einzelnen untersucht. Die Beobachtung mittels eines gewöhnlichen, freistehenden Mikroskopes erwies sich aber sehr bald als unzulänglich, da eine unbeabsichtigte Nebenbelichtung der Versuchsobjekte unter allen Umständen vermieden werden musste. Es musste also an die Schaffung einer eigenen Apparatur herangegangen werden, deren Zweck es war, die Versuchsobjekte in genau bestimmter Weise zu belichten, die Belichtungsintensitäten weitgehend zu variieren, Beobachtungen auch unmittelbar nach Abschluss einer Verdunklungsperiode zu ermöglichen und gleichzeitig den Einfluss der Temperaturverhältnisse eindeutig festzustellen.

Den eben erwähnten Anforderungen dienten die beiden im folgenden beschriebenen Apparaturen, von denen die eine als *g r o s s e*, die andere als *k l e i n e* Apparatur bezeichnet sei. Sie unterschieden sich dadurch, dass bei der grösseren Apparatur eine stärkere, innerhalb sehr weiter Grenzen variable Lichtquelle zur Anwendung kam, und gleichzeitig der Aufenthalt der Präparate unter verschiedenen Temperaturen ermöglicht wurde. Bei der kleineren Apparatur fiel die starke Lichtquelle sowie deren weitgehende Regulierbarkeit fort, ausserdem wurde auf Innehaltung einer genau konstanten und stets genau gleichen Temperatur während der Versuche verzichtet. Beide Apparaturen stimmen darin überein, dass durch Vorschaltung von

Wasserfiltern die Wärmestrahlen der Lichtquellen resorbiert wurden, sodass tatsächlich nur die Lichtstrahlen zur Einwirkung kamen. Die Aufstellung dieser kleinen Apparatur ausser der grossen erwies sich als zweckmässig, da das Arbeiten in der grossen Apparatur recht umständlich war und für bestimmte Zwecke, in denen es auf konstante Temperaturen nicht ankam, eine einfachere Apparatur vollständig genügte. Bei der grossen Apparatur wären die Vorrichtungen, um das Präparat auf konstanter Temperatur zu erhalten, ausserordentlich hinderlich gewesen.

GROSSE APPARATUR.

Eine schematische Darstellung der grossen Apparatur ist in der Fig. 1 wiedergegeben:



1. Bogenlampe
2. Rotierender Sektor
3. Wasserküvette
4. Sammellinse

5. Heiz- und kühlbarer Dunkelkasten
6. Beobachtungsmikroskop.
7. Verlängerte Mikrometerschraube
8. Thermometer.
9. Rühl- und Heizschlangen.

Fig. 1.

Lichtquelle. - Das Licht zur Beobachtung lieferte eine automatisch laufende Bogenlampe (1), die mit 5 Ampère brannte. Die Uhrwerkregulation ermöglichte bei genauer Einstellung einen annähernd gleichbleibenden Abstand der beiden Kohlenstifte. Vermittels einer sich an der Bogenlampe befindenden bikonvexen Linse verliess das Licht diese in Form eines parallelen Strahlenbündels. Die Regulierung der Lichtstärke wurde durch auswechselbare rotierende Scheiben erreicht, welche verschiedenen breite Schlitzze enthielten und durch einen Elektromotor in schnelle Umdrehung (1200 Touren pro Minute) versetzt wurden.

Sektor I (Fig. 2 a) stellt eine solche Pappscheibe von 350 mm Durchmesser dar

die 4 Ausschnitte enthält. Jeder der Ausschnitte beträgt $1/3600$ des jeweiligen Umfanges, bei 344 mm Durchmesser, also 0,3 mm am äusseren Rand. Das bei der Rotation hindurchfallende Licht nenne ich Intensität I.

Bei dem Sektor II (Fig. 2 b) war jeder der Schlitze an seinem Aussenrand (bei 344 mm Durchmesser) 9 mm, also 30 mal so breit. Diese 30 fache Lichtstärke von Intensität I bezeichne ich mit Intensität II.

Bei wieder 30 facher Vergrösserung der Schlitze wären die Ränder aneinander gestossen (Fig. 2 c), es war also bei Ausschalten des Sektors eine 30 fache Stärke der Intensität II vorhanden. Der Einfachheit halber nenne ich dieses Licht Intensität III.

Es verhalten sich demnach die Intensitäten: $I : II : III = 1 : 30 : 900$.

Wärmefilter. - Um bei den Beobachtungen der Objekte die Wärmewirkung der Bogenlampe auszuschalten, wurde hinter dem Sektor eine Glaskivette (3) von 160 mm Länge in den Strahlengang eingeschaltet, deren Wasser vor jedem Versuche erneuert wurde.

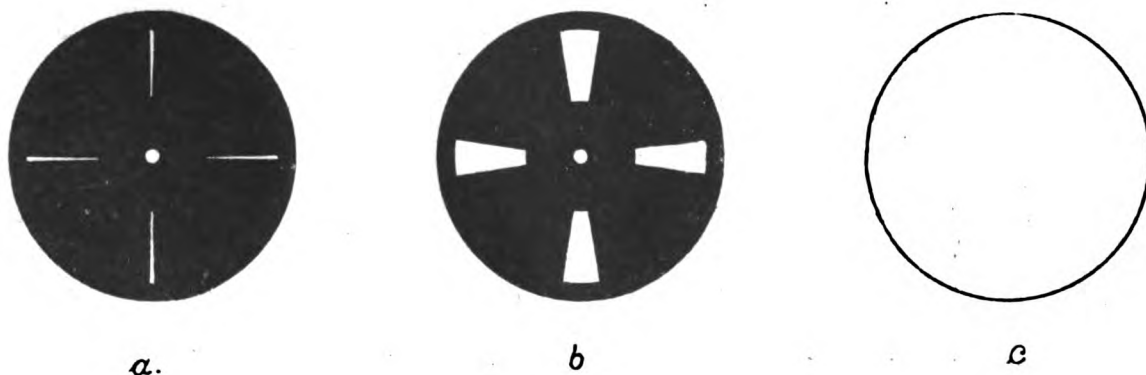


Fig. 2.

Aufstellung des Mikroskopes. - Als Beobachtungsmikroskop diente ein gewöhnliches Kurs-Mikroskop der Firma WINKEL, Göttingen, in das ein zweilinsiger Kondensor der Firma ZEISS mit n.Ap. 1,25 eingebaut war. Mit Hilfe eines Planspiegels wurde das Licht durch den Kondensor in das Präparat geworfen. Da bei den zur Anwendung kommenden hohen Intensitäten eine direkte Beobachtung durch das Okular des Mikroskopes unmöglich war, wurden auf das Okular Rauchgläser aufgelegt. Das Okular war ein übliches Messokular. Alle Untersuchungen wurden mit Objektiv 6 und Okular 4 bei einer Tubuslänge von 170 mm ausgeführt.

Um bei konstanten Temperaturen arbeiten zu können, war das ganze Mikroskop in einem Holzkasten (5), der zur besseren Isolation innen mit Filz ausgekleidet wurde, derart eingebaut, dass es nur mit dem obersten Teile des Okulars herausragte. Der hervorragende Teil war durch einen besonderen Aufsatz abgedichtet. Die Mikrometerschraube wurde mit einem starken Draht so verlängert, dass sie von aussen bequem zu bedienen war. Durch eine seitlich angebrachte Tür (in der Zeichnung nicht sichtbar) konnte das Präparat auf den Objektisch gebracht werden, wo es dann nach Schliessen der Tür während der Dauer des Versuches unberührt blieb. Um das zur Beobachtung notwendige Licht hineinfallen zu lassen, enthielt die Vorderwand des Kastens eine viereckige Öffnung, die durch Doppelfenster gegen die Aussenluft abge-

geschlossen war. Zum Ablesen der Temperaturgrade im Versuchskasten diente ein Thermometer, das unmittelbar neben dem Präparat mit dem Tisch des Mikroskopes in Verbindung stand. Die Temperatureinstellung erfolgte durch Wasserheizung bzw. Kühlung, indem Wasser der gewünschten Temperatur in den angebrachten Kühl- und Heizschlangen zirkulierte.

Gang der Lichtstrahlen. - Der Gang der Lichtstrahlen war folgender: Durch die Sammellinse der Eogenlampe verliess das Licht diese in Form eines parallelen Strahlenbündels und fiel nach Passieren des Sektors und Wärmefilters auf eine zweite, zwischen Wärmefilter und Kasten aufgestellte Sammellinse (4) von 250 mm Brennweite. Diese konvergierte das parallele Strahlenbündel so, dass es noch vor dem Brennpunkte der Linse den Planspiegel des Mikroskopes erreichte. Von diesem reflektiert, traf es von dem Kondensor abermals gesammelt das Präparat. An dieser Stelle, d. h. an der dem Präparat genau entsprechenden Stelle oberhalb des Kondensors, wurden dann die vorhandenen Lichtintensitäten bestimmt.

Bestimmung der Lichtintensitäten. - Die Bestimmung erfolgte auf photographischem Wege. Satrap-Gaslichtpapier wurde unter Vorsichtsmassregeln auf den Tisch des Mikroskopes gelegt, nach der Stoppuhr belichtet und dann in stets genau gleicher Weise entwickelt und fixiert. Die erzielten Schwärzungsgrade wurden dann mit denen verglichen, die bei Anwendung genau bekannter Lichtmengen resultierten.

Zur Belichtung wurde die schwächste Intensität I gewählt und diese weiter durch Vorschaltung von Gelbscheiben abgeschwächt. Eine entsprechende Abschwächung erfolgte naturgemäss auch bei der Test-Lichtquelle. Die Entwicklung erfolgte bei genau 16° C. mit frisch angesetzter Rodinal-Lösung 1 : 100 genau 2 Minuten lang; darauf wurde in Aqua dest. 10 Sekunden gewässert und dann 15 Minuten fixiert. Das Fixierbad bestand aus reinem Natriumthiosulfat 1,0 : Aqua dest. 10,0 und hatte ebenfalls eine Temperatur von 16° C.

Als Vergleichslichtquelle diente ein gleichmässig beleuchteter Ausschnitt von 5 x 5 cm einer stark belichteten Mattscheibe. Eine Messung mit dem BUNSEN-Photometer ergab, dass die durch das Quadrat hindurchgelassene Lichtmenge eine Intensität von 11,8 HEFNER-Kerzen besass.

Es wurden nun in 20 cm Abstand von dieser Lichtquelle ebenfalls mit dem GelbfILTER verschiedene Belichtungsserien angefertigt und in gleicher Weise entwickelt. Die so erhaltenen Bilder wurden mit denen verglichen, die auf dem Tische des Mikroskopes angefertigt waren. Bei 20 cm Abstand von der Test-Lichtquelle zeigte sich eine genau bestimmte Schwärzung des Papiers nach einer Belichtung von 8 Minuten. Diese Schwärzung nach 8 Minuten entsprach einer Belichtungsdauer von 16 Sekunden oberhalb des Mikroskopkondensors.

Die Intensitäten berechnen sich daher wie folgt:

1) Test-Versuch: Dauer der Belichtung 8 Minuten = 480 Sekunden. Die Test-Lichtquelle hat eine Lichtstärke von 11,8 H.K. Diese 11,8 H.K. entsprechen in 20 cm Entfernung = $11,8 \cdot \left(\frac{100}{20}\right)^2 = 295$ Meterkerzen.

2) Mikroskop-Versuch: Dauer der Belichtung = 16 Sekunden. Intensität = x. Bei beiden Versuchen ist die Schwärzung die gleiche. Daraus folgt:

$$x = \frac{480}{16} \cdot 295 = 8850 \text{ M.K.}$$

Daraus ergeben sich weiter:

$$\text{Intensität II} = 265\,000 \text{ M.K.}$$

$$\text{III} = 7\,965\,000 \text{ M.K.}$$

Hierbei ist zu berücksichtigen, dass sich diese Werte nur auf der hellsten, dem Kraterlicht entsprechenden Teil beziehen. Alle Beobachtungen sind in diesem hellsten Teil durchgeführt 1).

KLEINE APPARATUR.

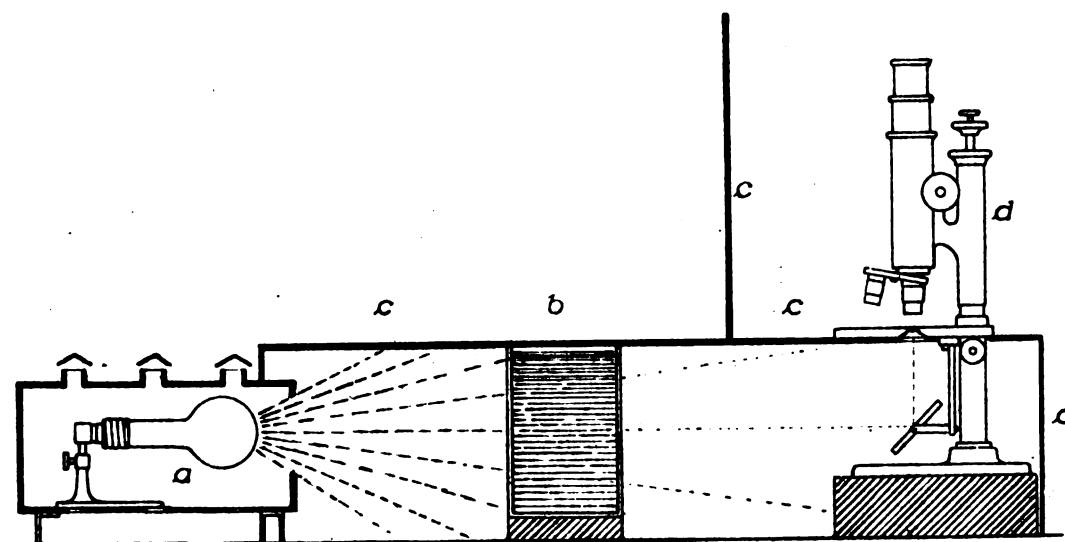
Lichtquelle. - In einem Weissblechkasten a von 30 x 25 x 8 cm Dimensionen wurde

1) Herrn Prof. Dr. DISSELHORST, der mir mit seiner physikalischen Werkstatt zur Verfügung stand, bin ich für seine Ratschläge zu Dank verpflichtet.

eine 200 Watt Osram-Nit-atlampe mit punktförmiger Lichtquelle so eingebaut, dass die Lichtstrahlen nur aus der runden Öffnung herausfielen. Diese hatte einen Durchmesser von 5 cm. Durch den Einbau der Lampe in den Kasten und eine sich daran schliessende Pappverkleidung wurde vermieden, dass die Lichtstrahlen der Osramlampe den ganzen Raum hell beleuchteten.

Wärmefilter. - Um die Wärmewirkung auszuschalten, wurde in 10 cm Abstand von dem Weissblechkasten eine Kuvette (b) von 8 cm Schichtdicke eingeschaltet, deren Wasser vor jedem Versuche erneuert wurde.

Aufstellung des Mikroskopes. - Das Beobachtungsmikroskop befand sich in 35 cm Entfernung von der Lichtquelle. Ein Kondensor wurde nicht eingeschaltet. Um das auf dem Objektisch des Mikroskopes liegende Präparat vor jeder Nebenbelichtung zu schützen, wurde, wie bereits erwähnt, vom unteren Teil des Mikroskopes angefangen bis zu dem Lichtkasten die ganze Apparatur mit einer Pappverkleidung versehen. Ausserdem wurde zur Sicherheit noch ein Pappschirm c aufgestellt. Die Aufstellung



a. Lichtkasten

b. Wasserkuvette

c. Abblendevorrichtung.

d. Beobachtungsmikroskop.

Fig. 3.

der Apparatur erfolgte im Dunkelraum, sodass die Präparate auch bei Tage vollständig dunkel gehalten werden konnten.

Gang der Lichtstrahlen. - Die Lichtstrahlen, die durch die runde Öffnung des Lichtkastens gelangten, wurden bei dieser Apparatur, nachdem sie das Wärmefilter passiert hatten, durch den Hohlspiegel in das Präparat geworfen.

Bestimmung der Lichtintensität. - Die Bestimmung der Lichtintensität erfolgte in der oben angegebenen Weise.

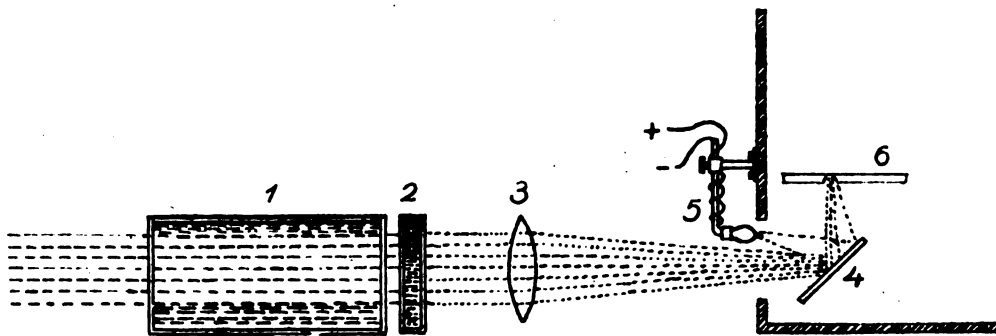
Der erwähnten 8 Minuten langen Belichtung durch die Testlichtquelle (11,8 HK) entsprachen 3 Sekunden auf dem Objektivtisch des Mikroskopes. Daraus berechnet sich eine Intensität von 47 200 Meterkerzen.

PRÜFUNG DER APPARATUR AUF ABSORPTION DER WÄRMESTRAHLEN.

Aus den oben erwähnten Literaturangaben ist zu ersehen, dass der Wärme eine

bedeutende Rolle in der Frage der Plasma-Strömung zuerkannt wird. Es muss daher streng zwischen Wärmewirkung und Lichtwirkung unterschieden werden; zwischen Lichtquelle und Mikroskop mussten, wie das geschehen ist, Wasserfilter eingeschaltet werden, welche die Wärmestrahlen absorbieren und den reinen Einfluss der Lichtstrahlen hervortreten lassen. Im Hinblick auf die Wichtigkeit der Frage wurden die Filter ausserdem durch besondere Versuche biologisch geprüft.

Zu diesem Zweck wurde die grosse Apparatur unter Ausschaltung des rotierenden



1. Wasserküvette
2. Ruvette mit Jod in CS_2
3. Sammellinse

4. Hohlspiegel des Mikroskopes
5. Beobachtungsbirne
6. Objektiv des Beobachtungsmikroskopes

Fig. 4.

Sektors, also bei Anwendung des stärksten Lichtes (Intensität III) vorübergehend in folgender Weise abgeändert:

Hinter die Kühl-Küvette (1) wurde eine 15 mm dicke Küvette mit einer konzentrierten Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff geschaltet (2). Bei der Konzentration und Dicke der Schicht gingen keine sichtbaren Strahlen der Bogenlampe mehr durch, während etwaige Wärmestrahlen ungehindert durchgelassen wurden. Da bei *Elodea* die Protoplasma-Strömung ohne Licht nicht einsetzt, musste durch Einschaltung einer eigenen Beleuchtung für Plasma-Strömung und auch für eine Beobachtungsmöglichkeit georgt werden. Eine kleine 4 Volt-Birne (5) wurde so angebracht, dass durch sie der Gang der von der Bogenlampe kommenden Strahlen nicht berührt wurde. Es wurde nunmehr bei brennender 4 Volt-Lampe in der Weise beobachtet, dass die Bogenlampe abwechselnd ein- und ausgeschaltet wurde. Irgend eine Beeinträchtigung des Strömungsbildes durch etwaige von der Bogenlampe herrührende Wärmestrahlen war nicht festzustellen, wie die weiter unten angeführten Versuchsdaten zeigten.

Die kleine 4 Volt-Birne gab selbstverständlich ebenfalls, wenn auch sehr schwache, Wärmestrahlen ab. Da diese während der ganzen Versuchsdauer gleichmässig einwirkten, konnten sie für die Frage der etwaigen Wärmestrahlenwirkung der Bogenlampe vernachlässigt werden. Im übrigen waren die Wärmestrahlen der 4 Volt-Birne ausserordentlich schwach; eine Messung mit dem Thermoelement zwischen Objektträger und Deckglas ergab während 25 Minuten nur die unbedeutende Erwärmung von $0,12^{\circ} C$.

Einzelheiten der durchgeführten Beobachtungen ergaben sich aus der unten angeführten Tabelle. Gute Rotation zeigende Zellen von *Elodea canadensis*, *E. densa* und *Vallisneria* wurden unter das Mikroskop gebracht, eine Stunde bei konstanter

Temperatur verdunkelt und bei gleicher Temperatur von 17° C. 10 Minuten lang dem Licht der 4. Volt-Birne ausgesetzt. Nachdem keine Zunahme der Strömungs-Geschwindigkeit mehr beobachtet werden konnte, wurde die Zeit, mit der ein Chlorophyllkorn die Zellwand umlief, abgestoppt. Dann wurde die Bogenlampe eingeschaltet, sodass ihre etwaigen Wärmestrahlen zur Einwirkung gelangen mussten, und nach 15 Minuten wiederum abgestoppt. Aus je 3 Ablesungen an einer Zelle wurde das Mittel gezogen. Eine Zunahme der Strömungsgeschwindigkeit infolge der Einwirkung des Wärmekegels der Bogenlampe hat nicht stattgefunden, woraus zu schliessen ist, dass das Wärme-filter genügte, um bei stärkster Intensität die Wärmestrahlen der Bogenlampe vollständig zu absorbieren.

TABELLE 1.

Es wurden gebraucht zum Umlaufen derselben Zellwand:

Präparat:	nach 10 Min. Belichtung der 4 Volt-Birne (Bogenlampe ausgeschaltet).		nach 15 Min. Einwirkung der Bogenlampe.	
Elodea densa	15,8	15,1 Sekunden	15,0	15,2 Sekunden
	14,6		15,6	
	14,9		15,0	
Elodea densa	15,3	16,2 Sekunden	16,0	16,1 Sekunden
	17,1		15,5	
	16,2		16,8	
Elodea canad.	13,5	14,0 Sekunden	14,3	14,1 Sekunden
	14,6		14,6	
	13,9		13,4	
Elodea canad.	14,2	14,2 Sekunden	13,2	14,0 Sekunden
	15,0		14,4	
	13,4		14,4	
Vallisneria sp.	13,9	13,7 Sekunden	13,8	13,8 Sekunden
	14,1		13,6	
	13,1		14,0	

**PFLANZENMATERIAL, HERSTELLUNG DER PRÄPARATE UND
DURCHFÜHRUNG DER BEOBSACHTUNGEN.**

Das zu den Versuchen verwendete Pflanzenmaterial von *Elodea canadensis*, *E. densa* und *Vallisneria spiralis* wurde unter stets gleichen Bedingungen im Warmhaus des Gewächshauses in einer Nährlösung mit Regenwasser nach MOLISCH (20) auf gewaschenem Quarzsande gezogen. Die Pflanzen gediehen gut und zeigten normales Wachstum. Zu den Versuchen wurden sie den Aquarien frisch entnommen.

Trotz der sorgfältigen Anzucht ist es unmöglich, bei den Untersuchungen stets Material zur Verfügung zu haben, das sich physiologisch genau gleich verhält und Protoplasma-Strömung von stets gleicher Stärke besitzt. Die Blätter gleicher Pflanzen, sogar desselben Sprosses oder Quirls zeigen oft ungleich starke Strömung. Um möglichst immer gleichwertige Blättchen zu verwenden, wurden solche in 10 - 20 mm Abstand von der Spitze als weder zu jung noch zu alt gewählt. Die unvermeidbaren Unregelmässigkeiten wurden dadurch ausgeschaltet, dass durch eine Voruntersuchung

jedes einzelnen Blattes eine Auslese der geeigneten Blätter vorgenommen wurde. Zu diesem Zweck waren mehrere Mikroskope im Halbkreise von 20 - 25 cm um eine 32 kerzige Osramlampe angeordnet; jedes Mikroskop trug ein frisch hergestelltes Präparat von *Elodea* bzw. *Vallisneria*. Die Blätter mit guter Protoplasma-Strömung wurden ausgesucht und fanden für die eigentlichen Versuche Verwendung.

Aber auch innerhalb der Zellen jedes Blattes (*Elodea*) bzw. Blatteiles (*Vallisneria*) sind Strömungs-Verschiedenheiten zu beobachten. Im Hinblick auf die Untersuchungen von KRETSCHMAR (15), wonach die Schwere der Verletzung bei der Protoplasma-Strömung eine Rolle spielt, wurde dieser Faktor besonders in Betracht gezogen. Bei *Elodea* geschah es dadurch, dass stets ein ganzes Blatt am Grunde mit dem Rasiermesser abgetrennt wurde. Auf diese Weise wurden immer gleichmässig verletzte Präparate erhalten, bei denen die Durchtrennung der Leitbündel in der gleichen Weise erfolgt war. Ausserdem wurden nur Zellen beobachtet, die mindestens 10 Zellen vom Trennungsschnitt und 2 Zellen von der Mittelrippe entfernt waren. Diese Zellen konnten als annähernd gleichwertig angesehen werden, weil sie durch Reizvorgänge nicht unmittelbar beeinflusst sind. Nach KRETSCHMAR (15) pflanzt sich der Wundreiz in den Zellen der Leitbündel schneller fort, als in den übrigen Zellen, weshalb diese für vergleichende Beobachtungen nicht so geeignet scheinen.

Anders liegen die Verhältnisse bei *Vallisneria*. Hier konnte nicht das ganze Blatt beobachtet werden, sondern es gelangten in der üblichen Weise Oberflächen-schnitte von möglichst gleichwertigen, vollständig gesunden Blättern zur Untersuchung. Es liess sich daher auch nicht wie bei *Elodea* die Vorsichtsmassregel anwenden, stets eine gleich schwere Verletzung hervorzurufen. Vielmehr konnten hier lediglich durch die schon erwähnte Voruntersuchung möglichst gleichströmende Präparate ausgesucht werden.

Im übrigen gelang es, durch die Auslese ungeeigneter Präparate Zellen zu finden, die gute, gleichmässige Strömungs-Geschwindigkeit zeigten. Selbstverständlich sind trotz aller Vorsichtsmassregeln Unregelmässigkeiten nie ganz zu vermeiden. Es gehört zur Durchführung vergleichender Untersuchungen über Plasmaströmung eine gewisse Übung in der Auswahl der geeigneten Zellen, die man sich durch die Untersuchungen selbst erst aneignen muss.

Die Untersuchung der hergestellten Präparate erfolgte in der üblichen Weise auf dem Objektträger mit Deckgläschen. Als Untersuchungsflüssigkeit diente, um die Zellen unter möglichst gleichen Verhältnissen weiter zu beobachten, die Nährlösung, in der die Pflanzen gewachsen waren. Um während der folgenden, oft längeren, Beobachtungszeiten ein Austrocknen des Präparates zu verhindern, gelangten Deckgläschen von 40 x 40 mm zur Verwendung. Eine in der Voruntersuchung als gut strömend befundene Zelle wurde in das Mikroskop der kleinen bzw. grossen Apparatur übertragen und hier so eingestellt, dass sie in ihrer ganzen Länge von dem Messokular bedeckt wurde. Dann wurde verdunkelt und nach einstündiger Verdunkelung wurde im Augenblick der Wiederbelichtung beobachtet und der Wiederbeginn der Strömung bei *Elodea* bzw. das Aufleben bei *Vallisneria* im einzelnen verfolgt. Insbesondere wurde, um absolute Werte zu erhalten, die Geschwindigkeit der Strömung in mehr oder minder regelmässigen Zeitabschnitten zahlenmässig ermittelt. Gemessen wurde die Zeit, welche ein Chlorophyllkorn brauchte, um eine durch das Messokular angegebene Strecke zu durchlaufen. Die Messung selbst erfolgte mittels Stoppuhr; die gefundene Zeit wurde auf den Weg von 1/10 mm umgerechnet. 60 Teilstriche des Messokulars entsprachen 1/10 mm. Wurden z.B. 20 Teilstriche in 6 Sekunden von einem Chlorophyllkorn durchlaufen, so beträgt die Geschwindigkeit für 1/10 mm = 3 a Sekunden.

Auch das Abstoppen der Chlorophyllkörner erfordert eine gewisse Übung. Es dürfen immer nur Chlorophyllkörner gewählt werden, die frei laufen und die durchschnittliche Geschwindigkeit des rotierenden Plasmas richtig kennzeichnen. Etwa entstehende, vorübergehende Unregelmässigkeiten müssen sofort erkannt und berücksichtigt werden; vor allem pflegt eine Zusammenballung von Chlorophyllkörnern in der Nähe des Zellkerns Störungen hervorzurufen und täuscht eine zu geringe Strömungsgeschwindigkeit vor. Ausserdem können während der Versuchsdauer noch andere Unregelmässigkeiten auftreten, für die eine Erklärung fehlt. Es kommt vor, dass

Plasma-Strömung bei gleichen Bedingungen plötzlich langsam und dann wieder schneller wird. Andererseits ist bei manchen Versuchen die Strömung so konstant, dass oft während längerer Zeitabschnitte die gleichen Sekundenzahlen abgestoppt werden.

Im Hinblick auf die individuellen Schwankungen des Versuchsmaterials und auf die immer wieder zu beobachtenden Störungen wurde jeder Versuch in mehrfacher Wiederholung durchgeführt. Die weiteren Einzelheiten sind aus den Ausführungen der folgenden Abschnitte zu ersehen.

VERDUNKELUNG UND PROTOPLASMA-STRÖMUNG.

Bereits in den oben erwähnten Versuchen ist festgestellt, dass die Protoplasma-Strömung von *Elodea* durch Verdunkelung zum Stillstand gebracht und durch Belichtung wieder hervorgerufen wird. Die Frage, ob und unter welchen Bedingungen in Dunkelheit überhaupt Plasma-Strömung stattfindet, ist im folgenden näher untersucht.

Blätter von *Elodea canadensis* wurden den Gewächshauspflanzen entnommen, solche mit gut strömenden Zellen mikroskopisch eingestellt und verdunkelt. Nach verschiedenen langer Verdunkelung wurde unmittelbar nach Einschalten des Lichtes beobachtet und festgestellt, ob und wie lange nach erfolgter Wiederbelichtung die Plasmaströmung eintritt. Diese Versuche sind in der folgenden Tabelle 2 enthalten; zur Verwendung kam die "kleine Apparatur".

TABELLE 2.

Abhängigkeit der Protoplasma-Strömung bei
Elodea canadensis von der Verdunkelung.

Versuchsgang: Verschieden lange Verdunkelung; Beobachtung unmittelbar nach erfolgter Wiederbelichtung.

Dauer der Verdunkelung in Stunden.	Versuch.	Temperatur in C.	Befund vor der Verdunkelung	Ref. unmittelbar nach der Wiederbelicht.	Beginn der Strömung nach
1	a	18,5	gute Ström.	Stillstand	0 Min. 8 Sek.
	b	18,5	"	"	0 " 15 "
	c	19,0	"	"	0 " 22 "
6	a	17,0	"	"	1 " 19 "
	b	18,0	"	"	0 " 33 "
	c	17,5	"	"	0 " 48 "
12	a	18,0	"	"	2 " 27 "
	b	18,0	"	"	0 " 55 "
	c	17,5	"	"	1 " 30 "
24	a	18,5	"	"	2 " 51 "
	b	18,0	"	"	2 " 18 "
	c	18,5	"	"	4 " 10 "
48	a	17,5	"	"	2 " 36 "
	b	18,5	"	"	4 " 18 "
	c	17,0	"	"	1 " 7 "

Die vorstehenden Versuche lassen erkennen, dass in allen Fällen die Verdunkelung die Plasma-Strömung zum Stillstand gebracht hat; sie zeigen weiter, dass die

Plasma-Strömung bei Wiederbelichtung regelmässig einsetzt. Trotz den im einzelnen zu beobachtenden Schwankungen scheint einem Steigen der Verdunklungsdauer bis zu einem gewissen Grade auch eine Zunahme der Zeit parallel zu gehen, die bis zum Beginn der Strömung erforderlich ist.

Es fragt sich nun, ob die Verdunklungszeit von einer Stunde in jedem Falle notwendig ist, um die Strömung zum Stillstand zu bringen, oder ob auch schon kürzere Zeiten genügen. Da mit der Möglichkeit gerechnet werden müsste, dass eine vorhergehende verschieden helle Beleuchtung ebenfalls von Einfluss ist, wurden die Blätter von *Elodea canadensis* zunächst regelmässig 10 Minuten in dem Licht der kleinen Apparatur beleuchtet und dann 15, 30, 45 und 60 Minuten verdunkelt. Unmittelbar nach der jeweiligen Verdunklungsperiode wurde in der üblichen Weise durch sofortige Beobachtung bei Wiederbelichtung festgestellt, ob schon Stillstand eingetreten war. Als kritische Zeit wurden 45 Minuten gefunden, da nach 30 Minuten Verdunklungsdauer in keinem Falle, nach 45 Minuten nur sehr vereinzelt und nach 60 Minuten überall Stillstand eingetreten war.

Da das Einstellen der Präparate bei dem verhältnismässig starkem Licht der "kleinen Apparatur" erfolgte, lag weiter der Gedanke nahe, dass bei einer vorhergehenden Belichtung mittels einer schwächeren Licht-Quelle kürzere Verdunklungszeiten genügen, um die Strömung zum Stillstand zu bringen. Die Abschwächung der Lichtquelle erfolgte in diesem Falle durch ein Rauchglas, das die Lichtintensität auf $1/12$ herabsetzte; die Versuchstechnik entsprach im übrigen genau der des vorigen Versuches. Es zeigte sich, dass diese Herabsetzung der Vorbelichtungsintensität bedeutungslos war.

Die obigen Versuche wurden mit *Elodea canadensis* angestellt, wo in Dunkelheit die Bewegung stets zum Stillstand kam und durch Belichtung wieder erweckt werden konnte. *Elodea densa* verhält sich durchaus ähnlich der *Elodea canadensis*, dagegen ergaben sich für *Vallisneria* prinzipielle Abweichungen. Hier konnte nach 1 Stunde Verdunklung nur eine Verlangsamung der Strömung festgestellt werden, die bei einer Ausdehnung der Verdunklungsdauer auf 10 Stunden nur wenig zunahm, sodass also ein Stillstand der Protoplasma-Strömung bei *Vallisneria* durch Verdunklung nicht erzielt werden konnte.

Die Beobachtungen an *Elodea* sind insoweit von besonderem Interesse, als sie auf eine ganze Reihe von Ergebnissen älterer Arbeiten ein neues Licht zu werfen imstande sind. Im Vorstehenden ist nachgewiesen, dass eine kurze Belichtung von oft nur wenigen Sekunden ausreichend ist, um die Protoplasma-Strömung wieder in Gang zu bringen. Daher scheiden alle älteren Beobachtungen als nicht einwandfrei aus, bei denen ein verdunkeltes Präparat im Lichte angefertigt und dann erst unter dem Mikroskop eingestellt wurde. Einwandfreie Beobachtungen über den Einfluss der Verdunklung sind nur dadurch möglich, dass die Präparate vor der Verdunklung in das mikroskopische Gesichtsfeld gebracht werden, hier während der Verdunklung bleiben und unmittelbar nach der Wiederbelichtung beobachtet werden.

An dem oben erwähnten Versuchsfehler kranken fast alle bisherigen Arbeiten. Wenn SACHS (31) "ganz früh morgens bei + 16,5° kaum Bewegung" fand, so bestätigt das einerseits die grosse Bedeutung des Lichtes, lässt aber andererseits auch erkennen, dass eine Beobachtung direkt nach der Verdunklung nicht stattgefunden hatte. DUTROCHET (4) und HOFMEISTER (9) stellen fest, dass Dunkelheit die Strömung im allgemeinen nicht sistieren kann. Auch das liegt daran, dass nicht sofort nach der Belichtung beobachtet wurde. Wird das Präparat nach dem Verdunkeln erst angefertigt und unter dem Mikroskop eingestellt, so genügt diese Zeit der Belichtung, um wieder Strömung hervorzurufen. Die schon erwähnten Versuche von NOTHMANN-ZUCKERKANDL (21) wurden so gemacht, dass die ganzen Sprosse in einem Uhrschildchen behandelt wurden. Sie lassen darauf schliessen, dass auf eine genaue Beobachtung der Zeit von der Einwirkung des Lichtes ab bis zum Eintritt der Strömung und umgekehrt ebenfalls kein grosser Wert gelegt wurde.

Auf jeden Fall zeigen die Beobachtungen an *Elodea* den ausserordentlichen Einfluss des Lichtes auf die Protoplasma-Strömung; ohne Licht gibt es hier keine Bewegung. Die Protoplasma-Strömung ist eine Reizbewegung, die bei *Elodea* ausschliesslich durch Belichtung ausgelöst wird. Bei *Vallisneria* macht sich der Einfluss des

Lichtes ebenfalls, allerdings nur in einer unzweifelhaften Beschleunigung der Protoplasma-Strömung bemerkbar.

DER EINFLUSS VON LICHT UND TEMPERATUR AUF DIE PROTOPLASMA-STRÖMUNG.

Die Versuche des vorigen Abschnittes haben ergeben, dass die Protoplasma-Strömung der untersuchten Wasserpflanzen durch Belichtung eingeleitet bzw. beschleunigt wird. Es musste daher angenommen werden, dass der Erfolg der Belichtung auch von der angewendeten Lichtintensität abhängt. Diese Intensität war in den Versuchen des vorigen Abschnittes nicht variiert, vielmehr wurden die Präparate stets in gleicher Weise dem Licht der kleinen Apparatur ausgesetzt. In den folgenden Versuchen ist durch Anwendung der grossen Apparatur die Lichtstärke zwischen 1-, 30- und 900-fach variiert. Die Versuchsanstellung blieb im übrigen die gleiche wie früher, d.h. die Präparate wurden nach ihrer Anfertigung zunächst im Mikroskop eingestellt, eine Stunde verdunkelt und dann mit den verschiedenen Lichtintensitäten I, II und III unter gleichzeitiger Beobachtung belichtet.

Die Anwendung der grossen Apparatur ermöglichte gleichzeitig die Versuchsanstellung bei konstanten Temperaturen. Im Hinblick auf die alten Literaturangaben von DUTROCHET (4), SACHS (31), HOFMEISTER (9) und VELTEN (35), wonach die Temperatur einen Einfluss auf die Strömung ausübt, wurden die Versuche bei zwei Temperaturen, nämlich bei $+15^{\circ}$ und $+30^{\circ}$ C. angesetzt. Das Untersuchungsmaterial war wiederum *Elodea densa*, *E. canadensis* und *Vallisneria spiralis*.

In den weiteren Versuchen ist dann ausserdem noch die Protoplasma-Strömung bei anderen Temperaturen untersucht: 0° , 5° , 10° , 15° , 20° , 25° , 30° , 35° , 40° , 45° C. Diese Versuche sind ausserdem noch in der Richtung ausgebaut, dass die Lichtintensität während der Versuchsdauer von I zu II zu III gesteigert wurde.

Ich beginne mit der Wiedergabe der Versuche mit konstanter Temperatur von 15° und 30° C. unter Anwendung der Lichtintensitäten I, II und III der grossen Apparatur und Dauerbelichtung durch die Intensitäten nach vorausgegangener Verdunkelung.

DER EINFLUSS VERSCHIEDENER LICHTINTENSITÄTEN BEI KONSTANTEN TEMPERATUREN VON $+15^{\circ}$ UND $+30^{\circ}$ C.

Die Anfertigung der Präparate erfolgte in der angegebenen Weise. Die Temperatur wurde während der vorgeschriebenen einstündigen Verdunkelungsdauer genau auf 15 bzw. 30° einreguliert. Nach einstündiger Verdunkelung wurde eine der zur Verfügung stehenden Lichtintensitäten eingeschaltet, und die vorher mikroskopisch eingestellten Zellen vom Augenblick der Belichtung an dauernd beobachtet. Die Beobachtungsdauer hing von dem Verlauf des Versuches ab; sie war im allgemeinen bei schwächeren Lichtintensitäten grösser, als bei der höchsten Lichtintensität III, wo nach einer gewissen Zeit Störungen in der Strömung eintraten. Um zu vergleichbaren Durchschnittswerten zu kommen, wurde jeder Versuch in mehrfacher Wiederholung angesetzt. Im allgemeinen stimmten diese Wiederholungen überein, jedoch fanden sich auch Unregelmässigkeiten. Die Versuche sind im tabellarischen Anhang wiedergegeben. Die Ergebnisse selbst wurden ausserdem graphisch dargestellt. Als Abszisse ist die Zeit in Minuten eingetragen, zu welcher vom Beginn der Wiederbelichtung an gerechnet, beobachtet wurde. Die Ordinaten geben die Sekunden an, in denen jeweils der Weg von $1/10$ mm von einem Chlorophyllkorn durchlaufen wurde. Die Versuche mit *Elodea densa*, *E. canadensis* und *Vallisneria spiralis* sind getrennt behandelt.

VERSUCHE MIT *ELODEA Densa*.

Die kurvenmässigen Darstellungen der Versuche lassen erkennen, dass die nach einstündiger Verdunkelung sistierte Protoplasma-Strömung durch jede der angewendeten Lichtintensitäten wieder hervorgerufen wird. Das Einsetzen der Strömung ist von Lichtintensitäten und der Temperatur in dem Sinne abhängig, dass starke Belichtung und hohe Temperatur im Sinne eines besonders schnellen

Einsetzens wirksam sind. Bei $+15^{\circ}\text{C}$. findet das Einsetzen bei der schwachen Intensität I etwa nach 1 Minute, bei der höheren Intensität III dagegen fast momentan statt. In entsprechender Weise bewirkt eine Temperaturerhöhung auf $+30^{\circ}\text{C}$. ein schnelleres Einsetzen der Strömung bei den schwächeren Lichtintensitäten.

Die von der Protoplasma-Strömung erreichten absoluten Geschwindigkeitswerte sind ebenfalls wieder sowohl von der Lichtintensität, als auch von der Temperatur abhängig. So gibt bei $+15^{\circ}\text{C}$. Intensität I eine Strömungs-Geschwindigkeit von ca. 0,2 mm pro Minute. Während Intensität II etwa den gleichen Wert erreichen lässt, ist bei Intensität III und bei der erwähnten Temperatur von $+15^{\circ}\text{C}$. eine schwache Beschleunigung auf ca. 0,24 mm pro Minute zu beobachten. Bei Temperaturen von $+30^{\circ}\text{C}$. werden allgemein höhere Geschwindigkeiten erzielt (ca. 0,5 mm pro Minute); Die Lichtintensität scheint hier übrigens, wenigstens was die Höhe der maximalen Geschwindigkeit anbetrifft, keine besondere Rolle zu spielen.

Die erzielten Geschwindigkeiten bleiben nicht in allen Fällen dauernd erhalten, vielmehr findet bei längerer Versuchsdauer unter bestimmten Bedingungen wieder eine Abnahme der Geschwindigkeit statt. Auch hier wirken Licht und Temperatur in der gleichen Richtung: Je stärker die Belichtung und je höher die Temperatur ist, um so eher setzt die Strömung ein, und um so höhere Werte erzielt sie, aber um so eher ist auch ein Nachlassen der erreichten Maximalgeschwindigkeit festzustellen. Intensität I zeigt bei $+15^{\circ}\text{C}$. von etwa 12 Minuten ab bis zum Versuchsende (44 Minuten) konstante Verhältnisse. Die gleichen Verhältnisse sind bei $+30^{\circ}\text{C}$. zu beobachten, nur erfolgt hier das Einstellen auf konstante Strömung schon nach etwa 4 Minuten. Im grössten Gegensatz steht hierzu Intensität III, wo die erreichten Geschwindigkeiten bald nachlassen. Schon nach verhältnismässig kurzer Zeit, bei $+15^{\circ}\text{C}$. etwa nach 8 Minuten, bei $+30^{\circ}\text{C}$. etwa nach 6 Minuten, ist diese Verlangsamung der Strömung, also eine offensichtliche Schädigung der Zelle, zu beobachten, die meist in einer völligen Sistierung zum Ausdruck kommt. Die Bedeutung der Temperatur macht sich in der Richtung bemerkbar, dass eine Schädigung sich bei $+30^{\circ}\text{C}$. schneller vollzieht, als bei $+15^{\circ}\text{C}$. In der Mitte zwischen der Intensität I und III steht in ihrer Wirkung Intensität II. Während bei $+15^{\circ}\text{C}$. noch annähernd konstante Verhältnisse während der ganzen Versuchsdauer (40 Minuten) vorherrschen, ist bei $+30^{\circ}\text{C}$. eine allmähliche Schädigung durch das Licht festzustellen.

Wenn wir den Begriff des Optimums dahin deuten, dass diejenigen Bedingungen als optimal gelten, welche das schnellste Einsetzen und das Erreichen der höchsten Geschwindigkeiten der Plasma-Strömung verursachen, so ist das die Anwendung möglichst hoher Lichtintensitäten bei der hohen Temperatur von $+30^{\circ}\text{C}$. Diese Bedingungen wirken aber gleichzeitig schädigend, da sehr bald eine Sistierung der Strömung erfolgt. Fassen wir daher das Optimum dahin auf, dass für möglichst lange Dauer eine möglichst gleichmässige und dabei natürlich möglichst gute Plasmaströmung erzielt werden soll, so sind das schwache Lichtintensitäten bei einer Temperatur von $+30^{\circ}\text{C}$., oder mittlere Lichtintensitäten bei einer tieferen Temperatur ($+15^{\circ}\text{C}$).

VERSUCHE MIT *ELODEA CANADENSIS*.

Die Versuche mit *Eloдея canadensis* lassen prinzipiell das gleiche erkennen: Eine Zusammenarbeit von Licht und Temperatur in der Richtung, dass hohe Temperatur und hohes Licht zunächst stark beschleunigend wirken, dann aber schädigend. Das Einsetzen der Strömung erfolgt unter den gleichen Bedingungen wie bei *Eloдея densa*, d.h. hohes Licht und hohe Temperatur rufen die Protoplasma-Strömung am schnellsten wieder hervor. Für lange Zeit konstante Strömung ist nur bei schwächstem Licht vorhanden. Bei höchster Intensität findet sowohl bei $+15^{\circ}\text{C}$. nach gewisser Zeit eine Schädigung statt. Intensität II bildet insofern den Übergang, als bei $+15^{\circ}\text{C}$. noch eine annähernde Konstanz bis zum Versuchsende zu beobachten ist, während bei $+30^{\circ}\text{C}$. schon bald eine Schädigung einsetzt.

Die Unterschiede gegenüber *Eloдея densa* sind hauptsächlich quantitativer Art. In allen Fällen sind die erzielten Geschwindigkeiten höher. Bei $+15^{\circ}\text{C}$. liegen die Werte für Intensität I und II etwa um 0,3 mm, für Intensität III etwa zwischen

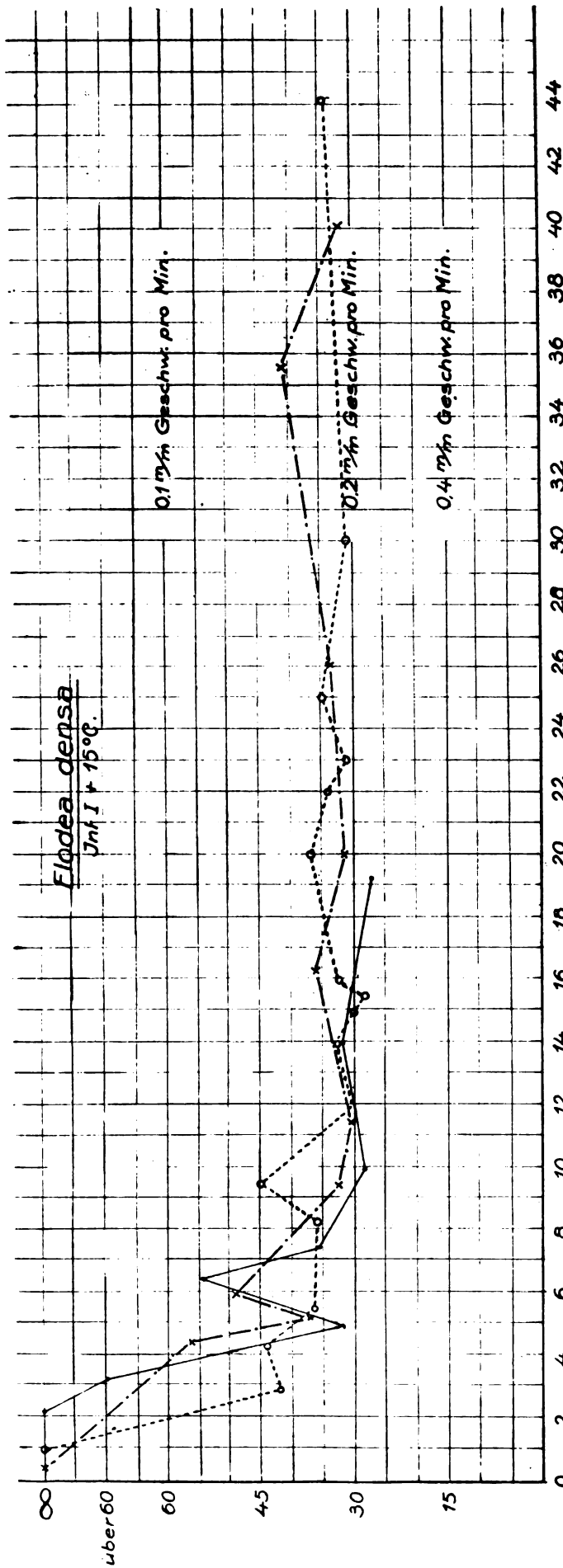


Fig. 5.

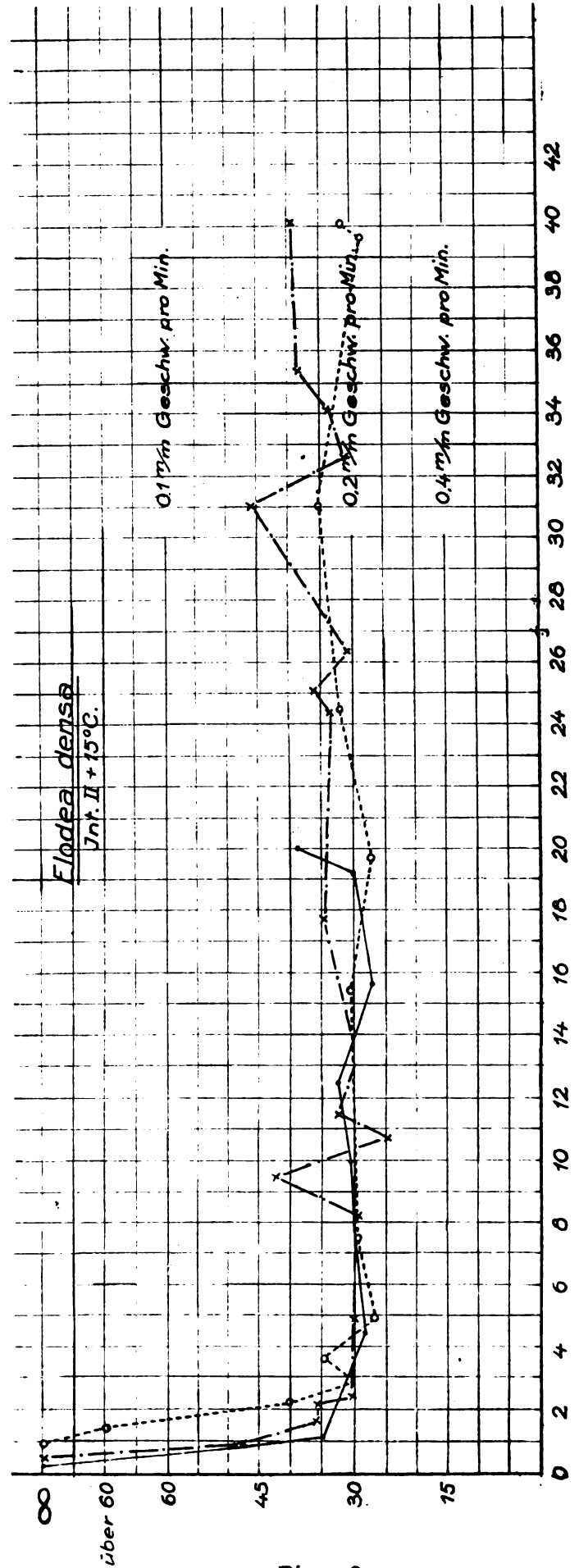


Fig. 6.

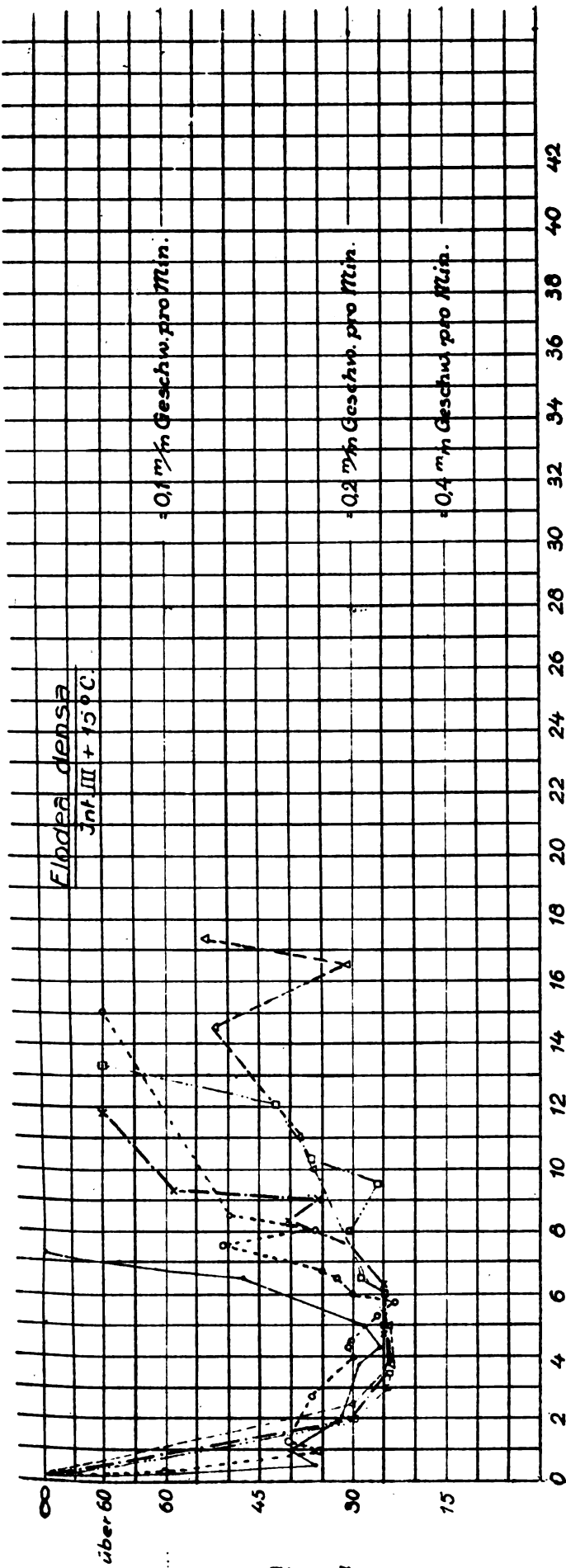


Fig. 7.

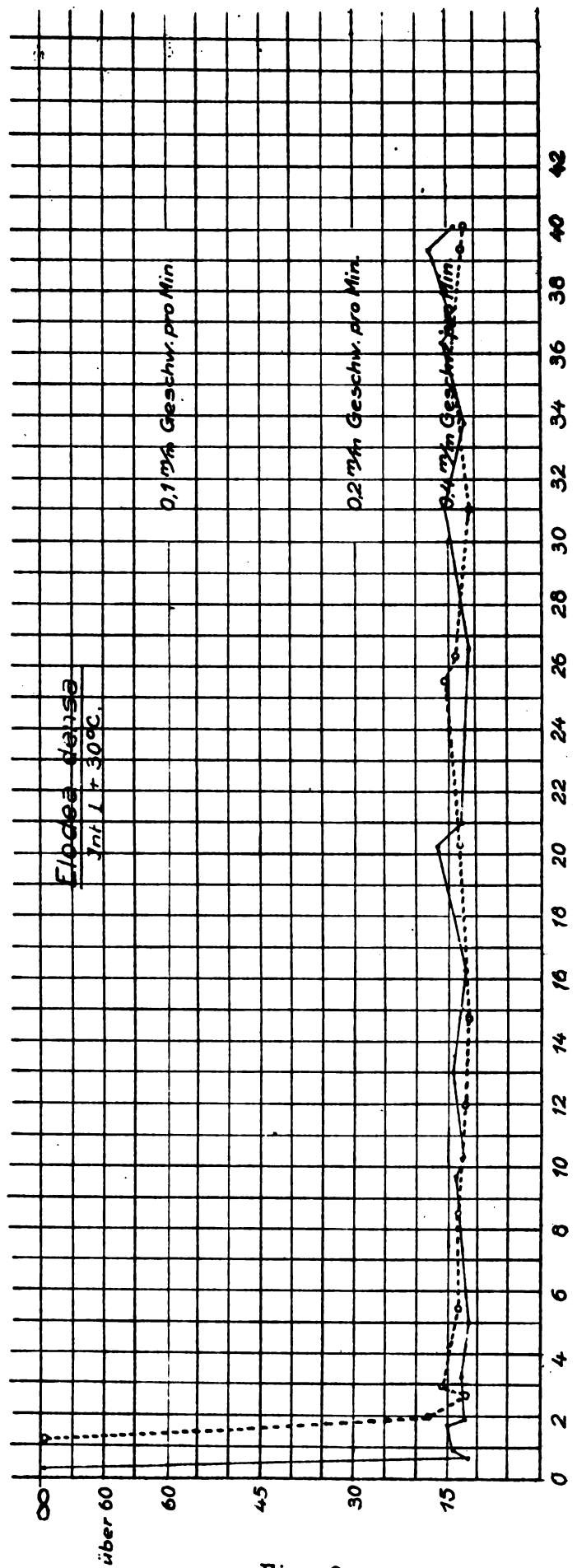


Fig. 8.

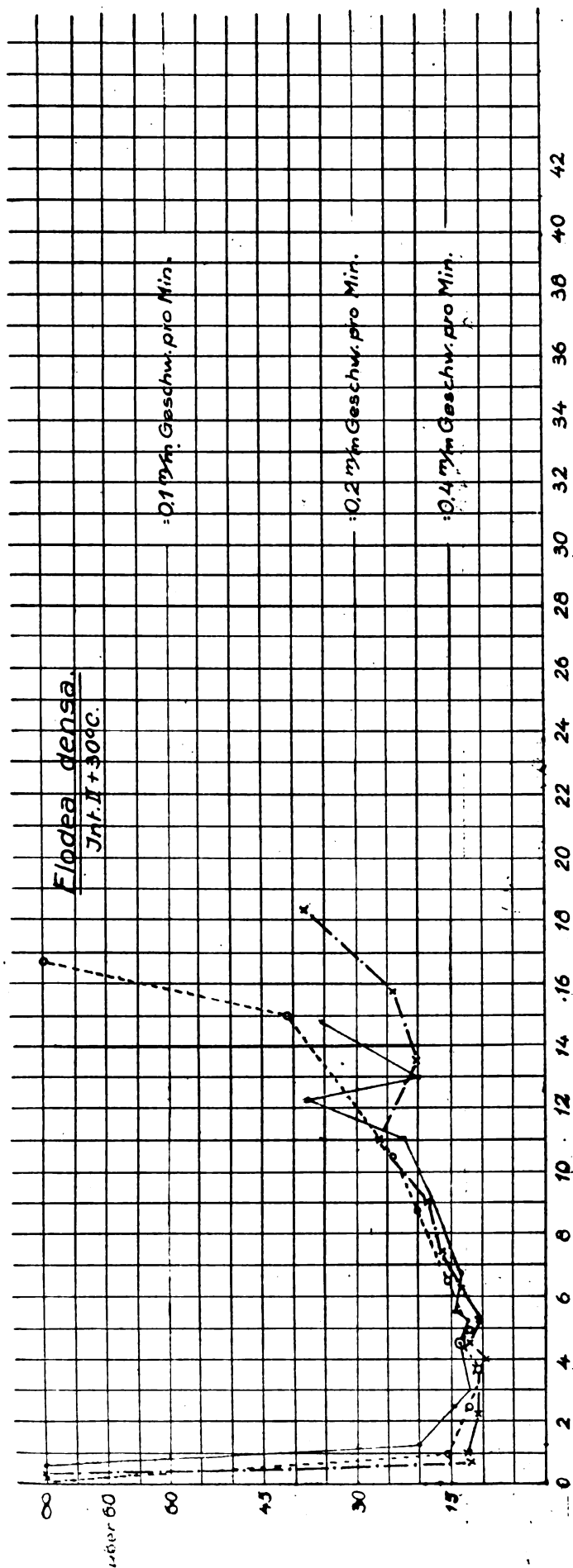


Fig. 9.

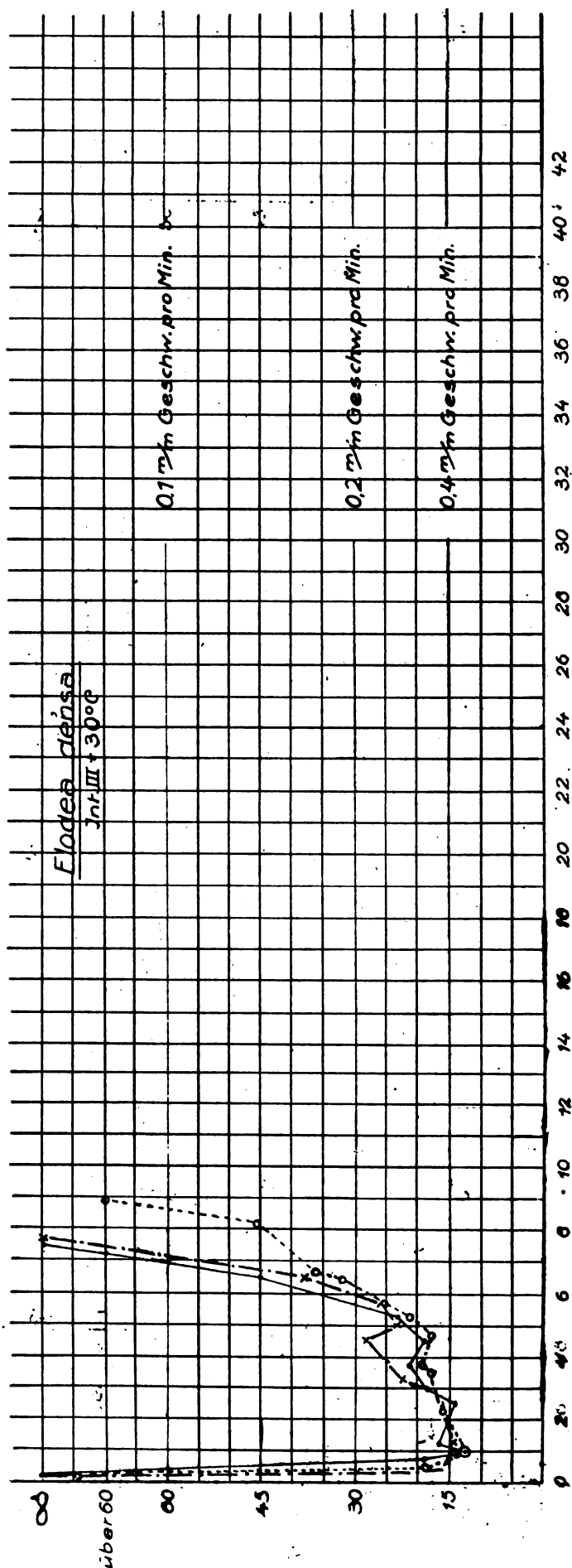


Fig. 10.

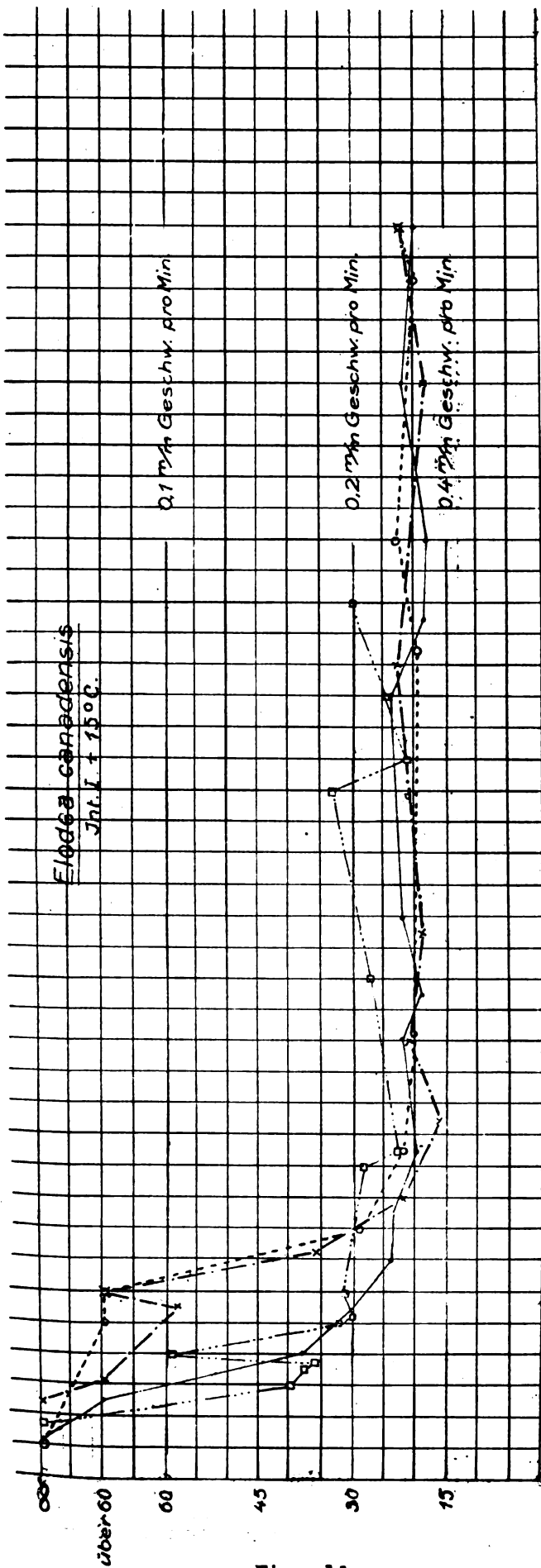


Fig. 11.

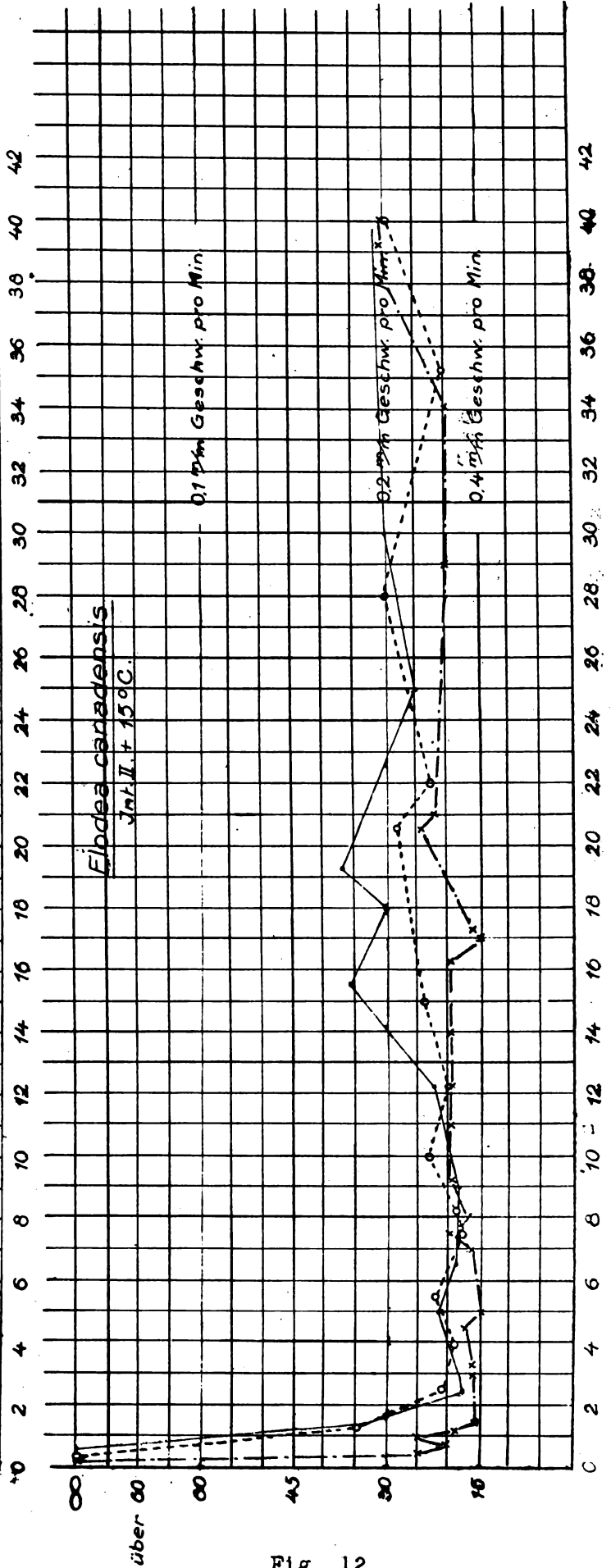


Fig. 12.

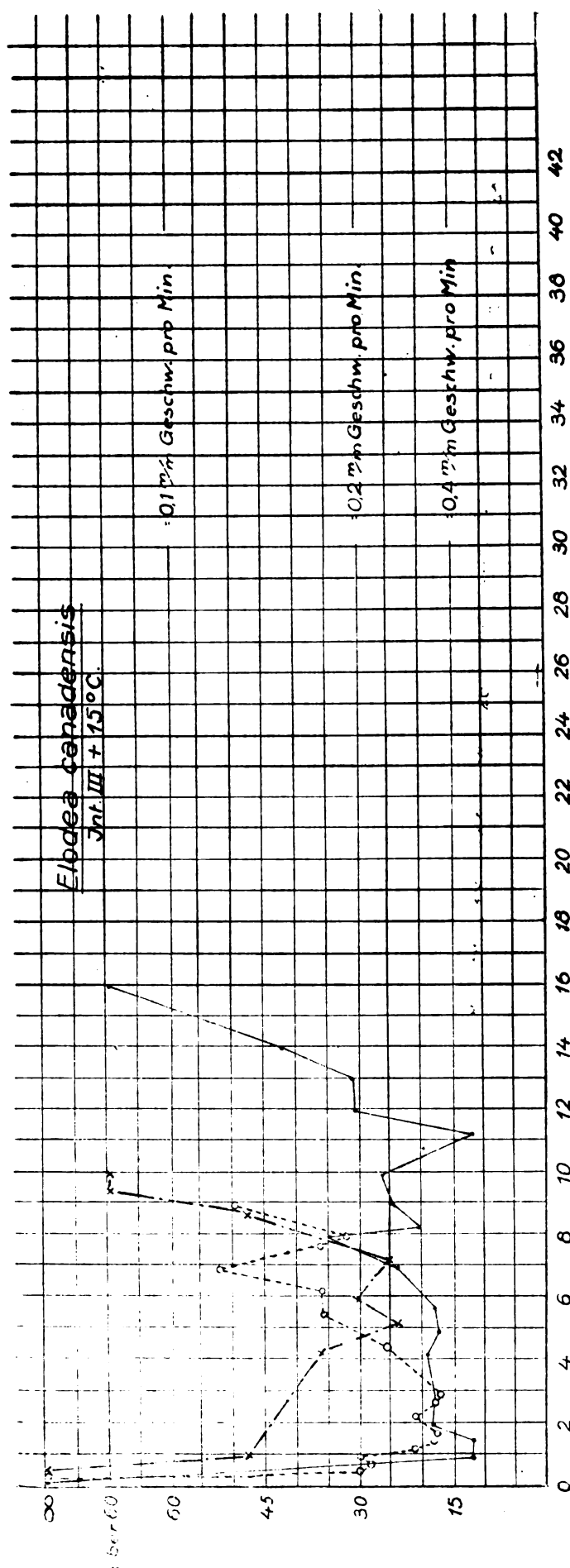


Fig. 13.

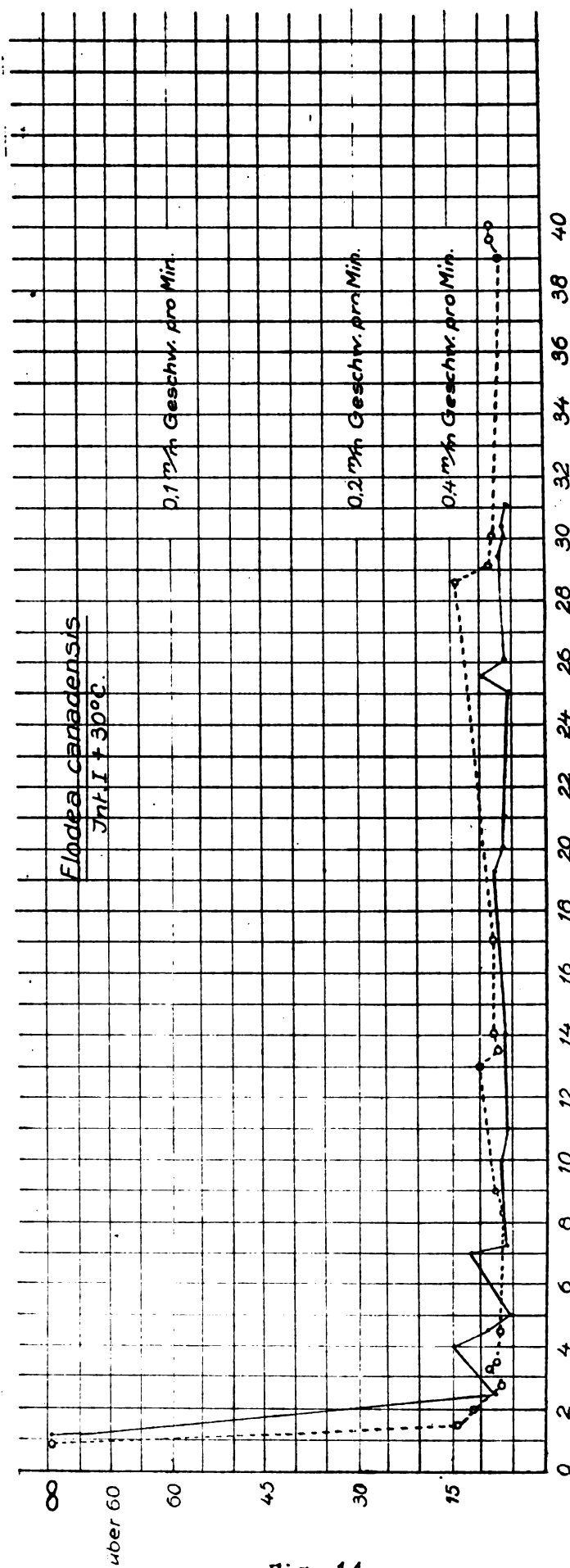
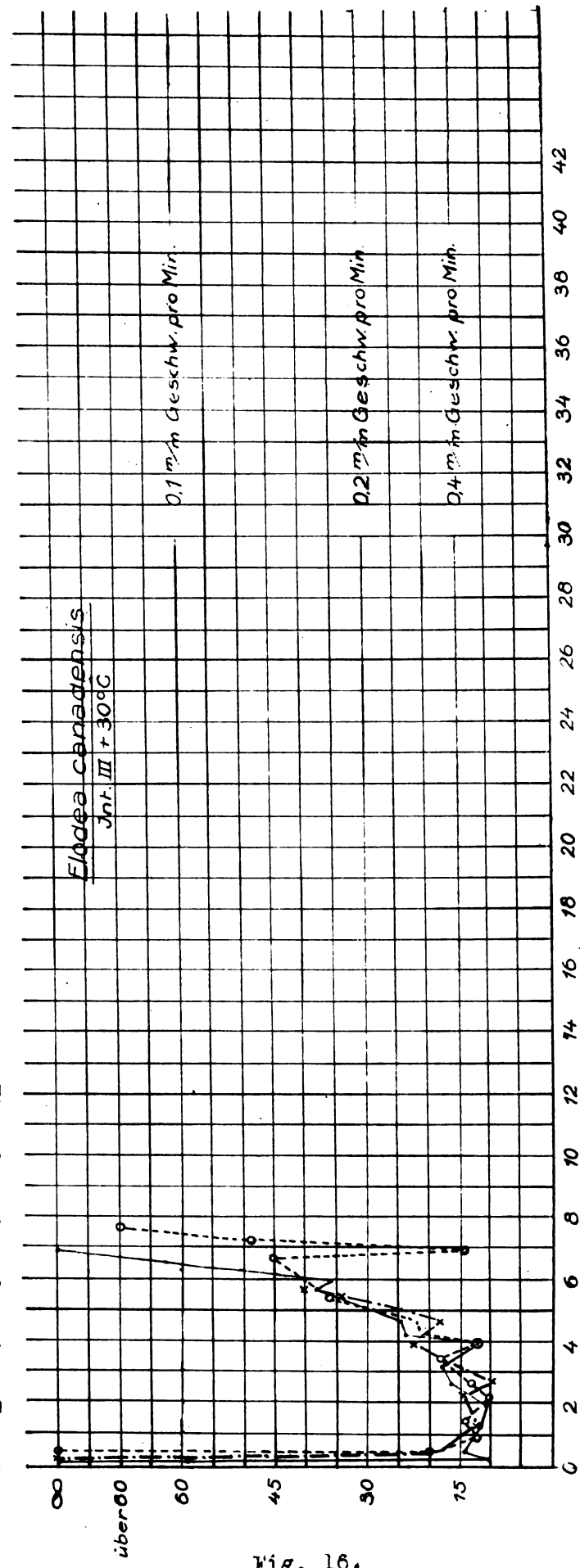
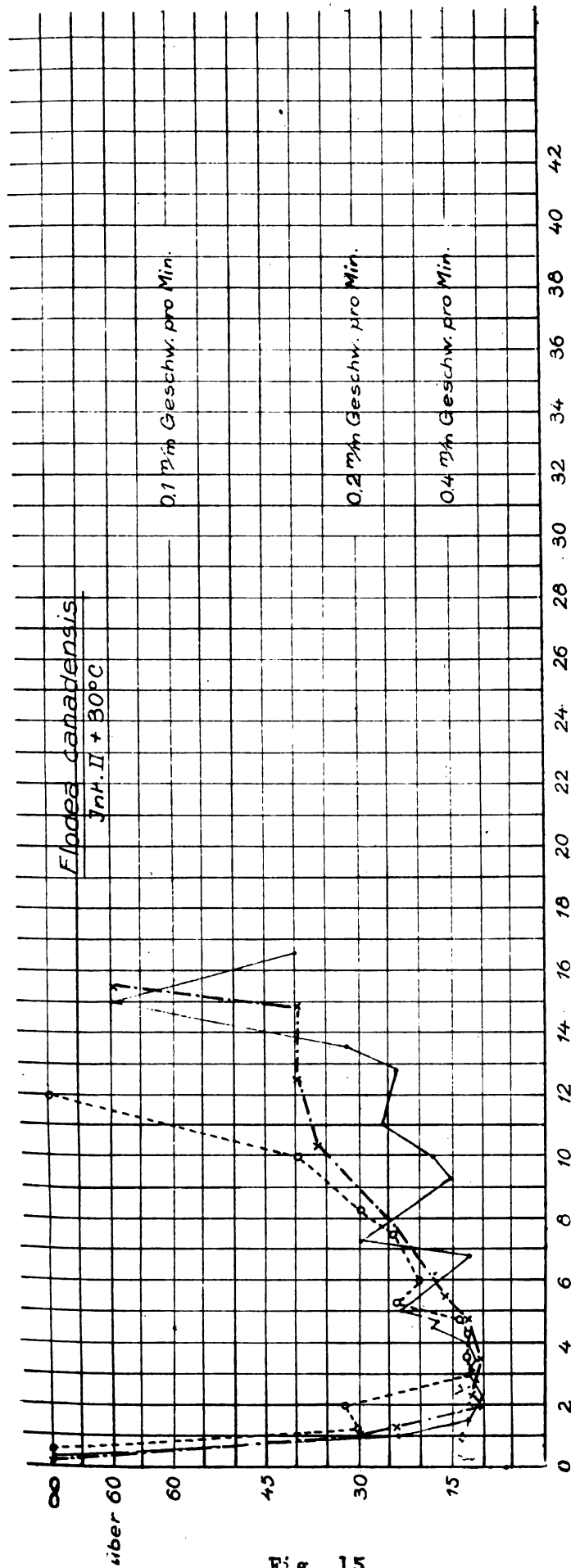


Fig. 14.



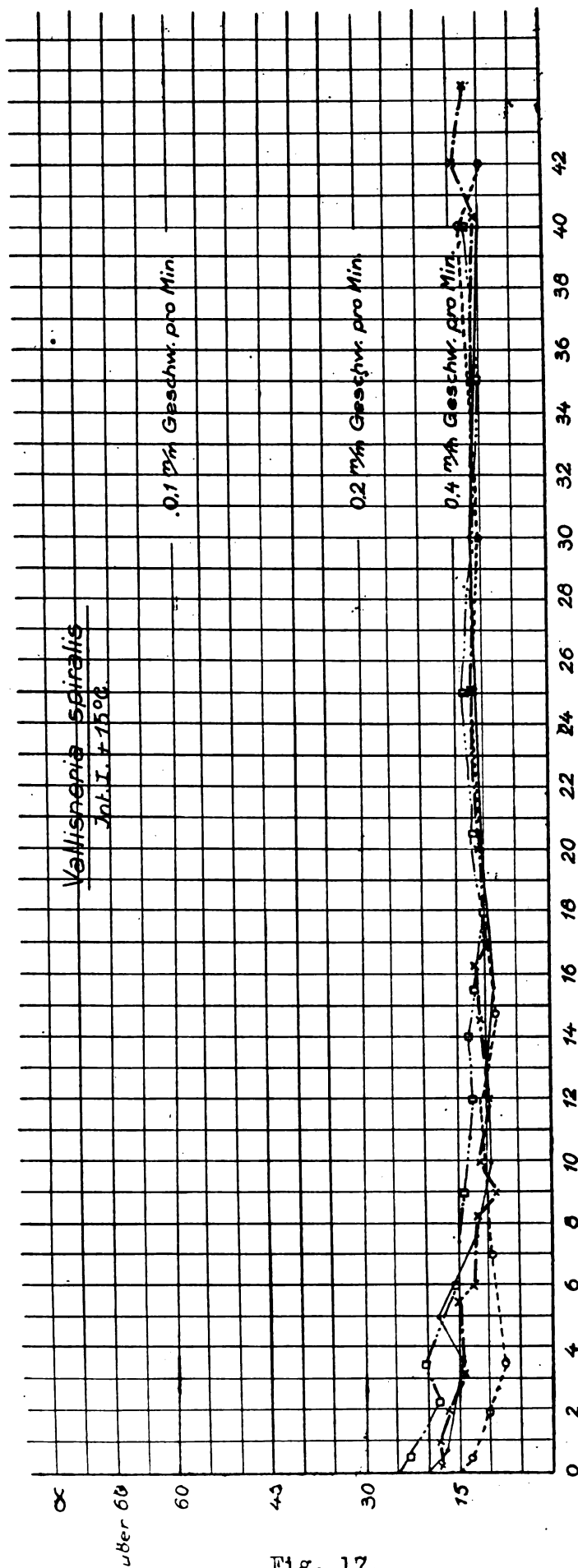


Fig. 17.

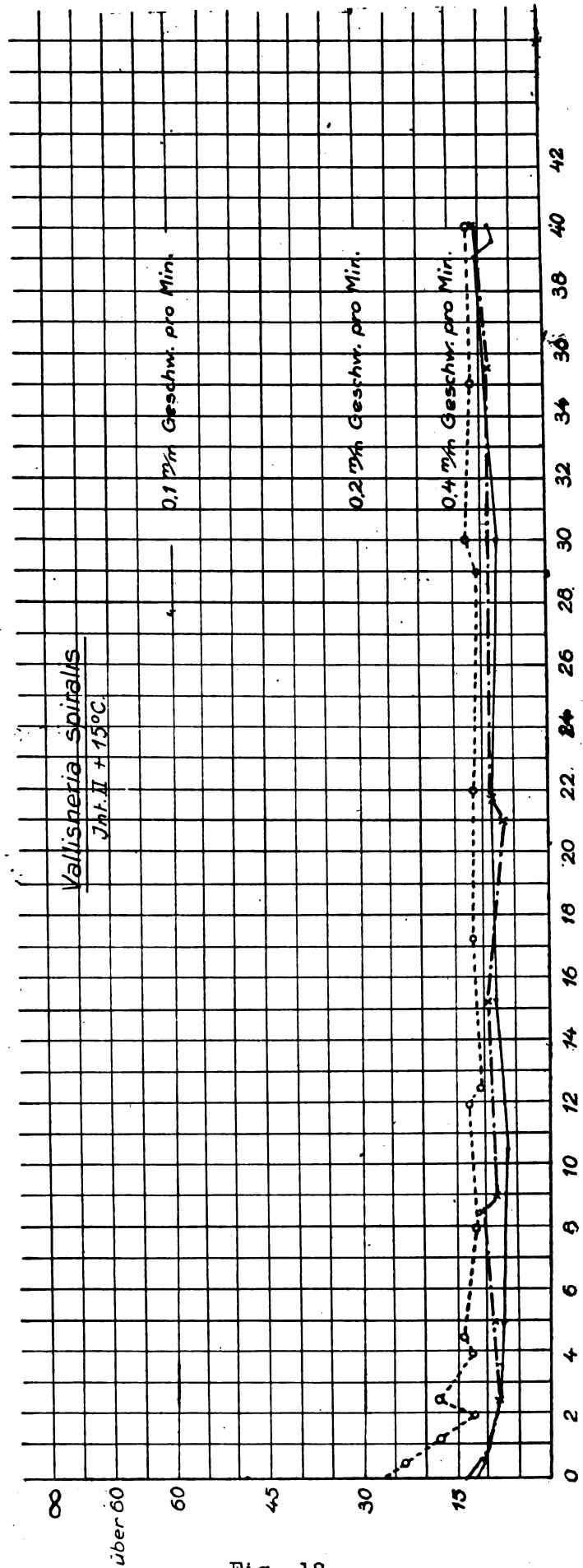
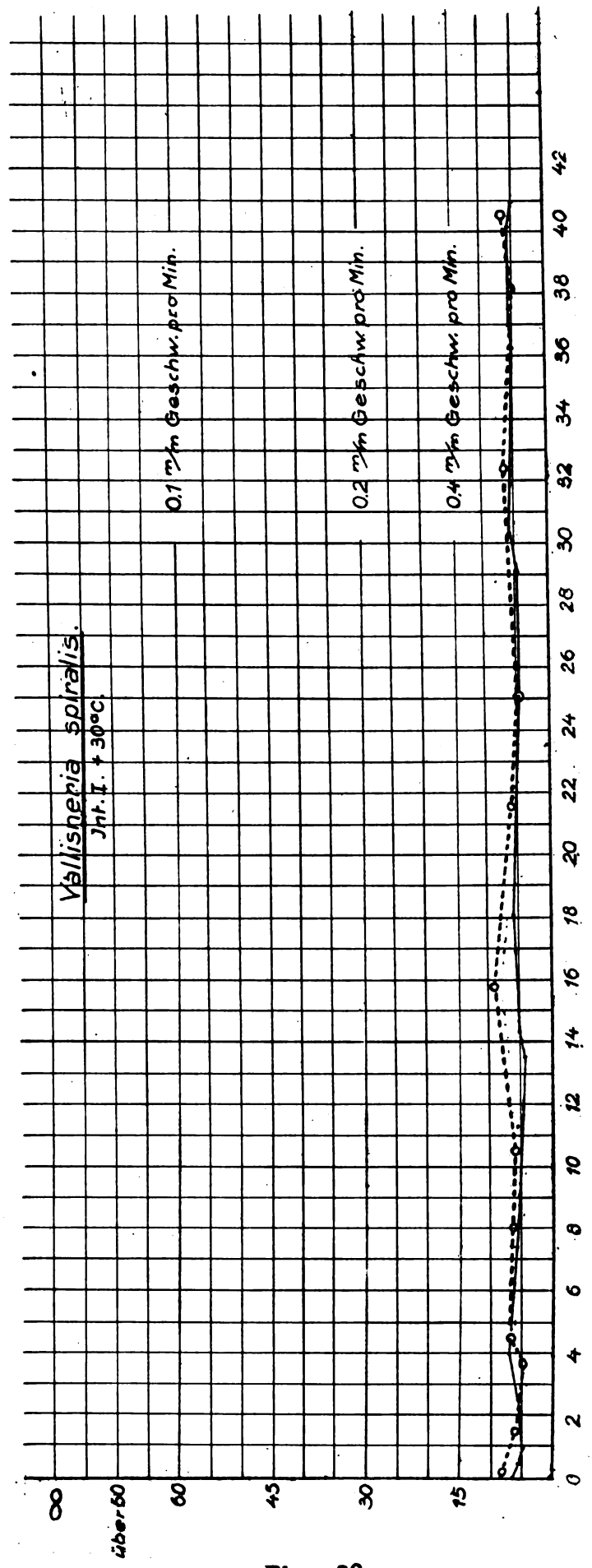
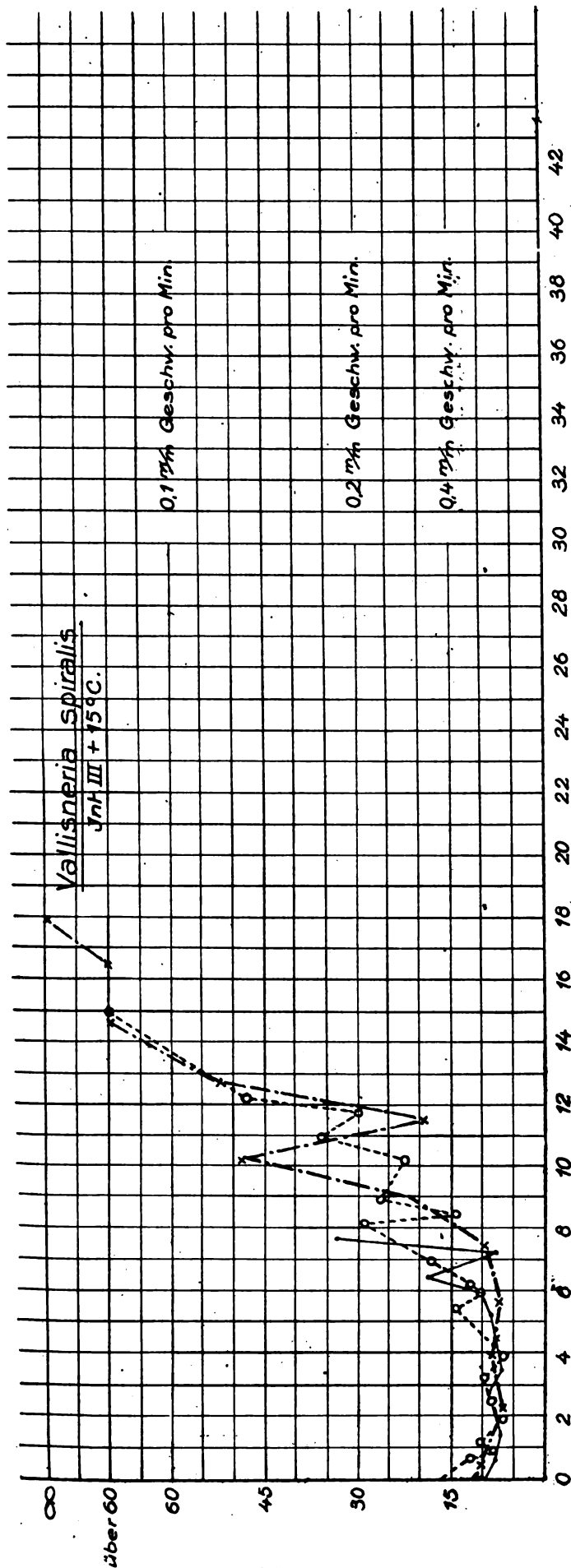
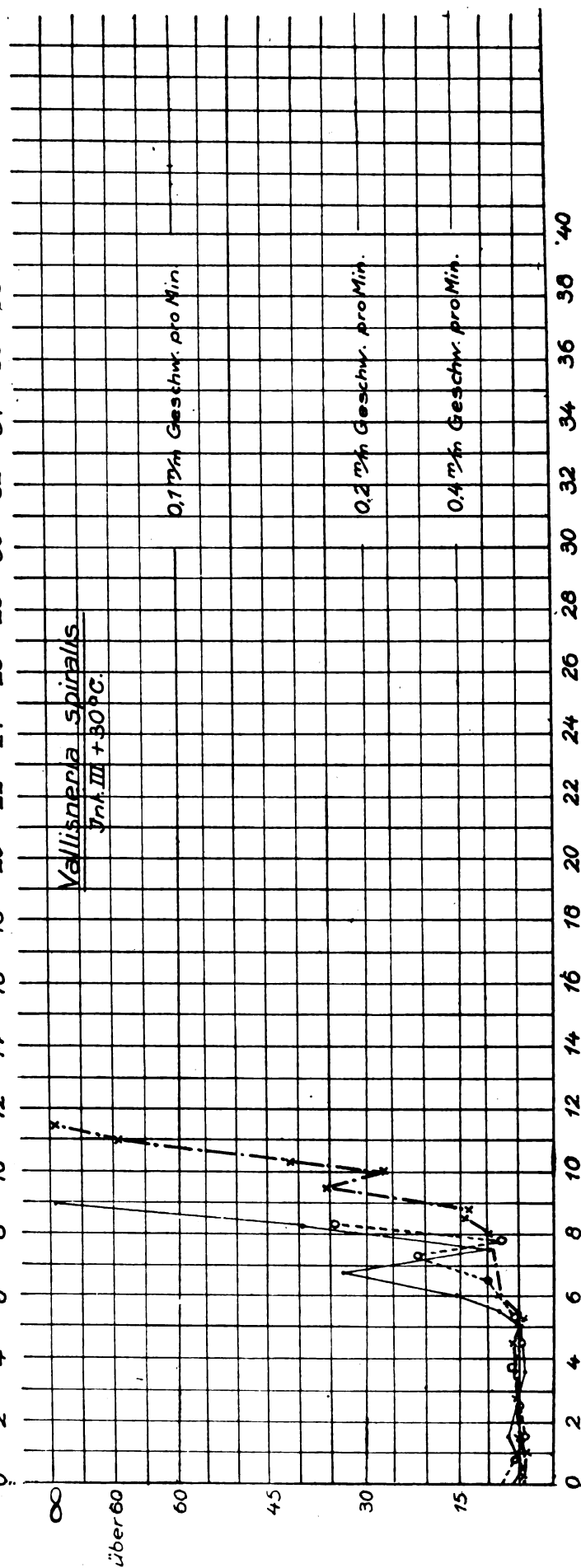
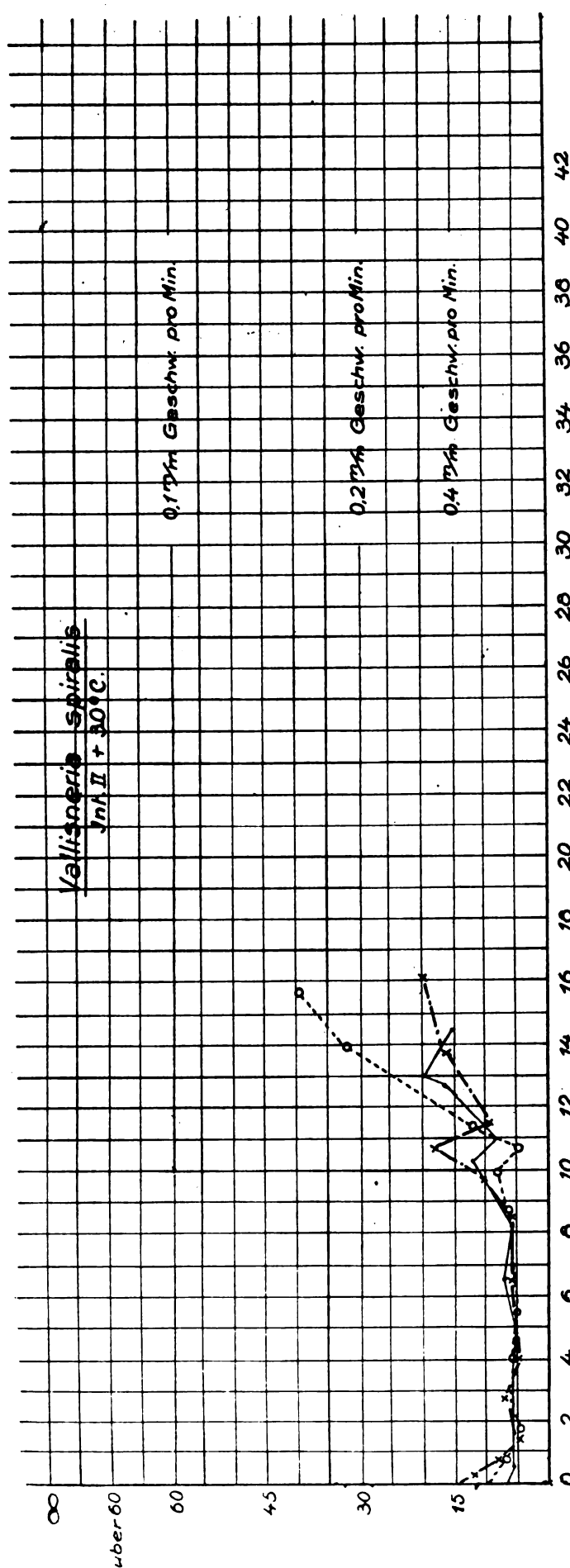


Fig. 18.





0,3 und 0,4 mm pro Minute. Eine Steigerung der Temperatur auf $+ 30^{\circ}$ C. erhöht die Geschwindigkeit fast um das Doppelte (0,6 mm pro Minute).

VERSUCHE MIT *VALLISNERIA SPIRALIS*.

Die Versuche mit *Vallisneria spiralis* unterschieden sich von vorneherein von denen mit *Elodea densa* und *E. canadensis* dadurch, dass durch die einstündige (und auch eine beliebig längere) Verdunkelungsdauer ein Stillstand der Strömung nicht herbeigeführt, sondern nur eine Verlangsamung beobachtet werden konnte. Man muss daher unmittelbar nach der Wiederbelichtung mit den Beobachtungen beginnen, um den beschleunigenden Einfluss des Lichtes während der allerersten Einwirkungszeit überhaupt feststellen zu können. Ein gewisser Zeitverlust ist dadurch unvermeidbar, dass sich das Auge erst einige Sekunden an das Bild gewöhnen muss. Immerhin gelingt es, wenige Sekunden nach Wiederbelichtung die Geschwindigkeit abzustoppen. Die Geschwindigkeits-Verhältnisse unmittelbar nach der Wiederbelichtung liessen sich allerdings nur schätzen.

Trotzdem die Plasmaströmung von *Vallisneria spiralis* insoweit weniger vom Licht abhängig ist, als sie in Dunkelheit nicht zur Ruhe kommt, ist eine gewisse Ähnlichkeit der Ergebnisse mit denen von *Elodea densa* und *E. canadensis* doch unverkennbar. Auch hier sieht man den fördernden Einfluss des Lichtes, die Geschwindigkeit steigernde Wirkung der Temperatur und den schädigenden Einfluss zu starker Belichtung, der ebenfalls wieder um so grösser ist, je höher die Temperaturen sind.

Unterschiede bestehen in den absoluten Geschwindigkeiten. Diese sind bei *Vallisneria* wesentlich grösser, als bei den beiden *Elodea*-Arten. Unter Intensität I und II sind Durchschnitts-Geschwindigkeiten von 0,6 mm pro Minute zu beobachten; durch Intensität III wird dieses Ergebnis nur wenig verbessert. Bei $+ 30^{\circ}$ C. weist *Vallisneria* während der mehr oder weniger langen Konstanz der Bewegung die grössten Strömungs-Geschwindigkeiten (ca. 1,0 mm pro Minute) auf, sodass diese Temperatur für *Vallisneria* das Optimum bezüglich der Maximalgeschwindigkeit darstellt. Die Höhe der erzielten Geschwindigkeit wird kaum durch die Lichtintensität beeinflusst, wohl dagegen ist diese wieder ausschlaggebend für die Konstanz der Strömung. Optimale Verhältnisse in Bezug auf Konstanz der Strömung liegen bei $+ 30^{\circ}$ C. dagegen bei Intensität I und II vor.

DER EINFLUSS DER TEMPERATUR AUF DIE PROTOPLASMA-STROMUNG BEI GLEICHZEITIGER VERÄNDERUNG DER LICHTINTENSITÄTEN.

Die Beobachtungen des vorigen Abschnittes lassen deutlich den Einfluss verschiedener Lichtstärken auf die Protoplasma-Strömung erkennen. Da bei diesen Versuchen sich gleichzeitig ergeben hatte, dass die Temperatur ebenfalls von Bedeutung ist, so ist im folgenden die Protoplasma-Strömung bei einigen weiteren Temperaturen untersucht. Als Temperaturen wurden 0° , 5° , 10° , 15° , 20° , 25° , 30° , 35° , 40° , 45° C. gewählt. Durch Verwendung der grossen Apparatur war für Konstanz der erwähnten Temperaturen Sorge getragen.

Das Ansetzen der Versuche erfolgte wie schon beschrieben. Sämtliche Versuche wurden mit der schwachen Intensität I begonnen; da hier allgemein nach 15 Minuten konstante Verhältnisse zu beobachten waren, und eine spätere Änderung nicht zu erwarten war, so wurden diese Grundversuche nach 15 Minuten abgeschlossen und das gleiche Präparat jeweils noch dazu benutzt, den Einfluss einer Steigerung der Lichtintensität festzustellen. Es wurde daher unmittelbar anschliessend an Intensität I Intensität II eingeschaltet. Nach 5 Minuten Einwirkungsdauer von Intensität II folgte dann ebenfalls 5 Minuten noch Intensität III. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 3, 4 und 5 dargestellt.

VERSUCHE MIT *ELODEA Densa*.

Im Vergleich der durch Intensität I hervorgerufenen Strömungsgeschwindigkeiten.

bei den verschiedenen Temperaturgraden zeigt die Abhängigkeit der Geschwindigkeit von der Temperatur. Bei 0°C . herrscht Kältestarre; mit zunehmender Temperatur findet dann ein stetes Ansteigen der Geschwindigkeit statt. Das Optimum der Bewegung liegt bei $+35^{\circ}\text{C}$., unmittelbar unter dem Temperatur-Maximum. Die höchste erreichte Geschwindigkeit beträgt ca. 0,6 mm pro Minute.

Steigern wir nach 15 Minuten Einwirkung von Intensität I die Lichtintensität um das 30 fache auf Intensität II, so ist der Erfolg der Lichtsteigerung unverkennbar: Bei allen Temperaturen, mit Ausnahme von $+5^{\circ}\text{C}$. und $+35^{\circ}\text{C}$. ist eine gewisse Steigerung der Geschwindigkeit zu beobachten. Das Optimum der Strömung mit ca. 0,48 mm pro Minute liegt aber hier bei $+25^{\circ}\text{C}$. und nicht mehr, wie unter Intensität I, bei 35°C . Bei dieser Temperatur hat die Steigerung der Lichtintensität Schädigungserscheinungen bewirkt.

Steigern wir nach 5 Minuten Intensität II die Lichtintensität nochmals um das 30 fache auf Intensität III, so bedeutet die Steigerung nur noch bei $+15^{\circ}$ und $+20^{\circ}\text{C}$. eine schwache Beschleunigung. Bei Temperaturen von 10°C . abwärts und bei solchen über $+25^{\circ}\text{C}$. findet eine starke Schädigung, bei $+25^{\circ}\text{C}$. nur eine schwache Verlangsamung statt.

Aus diesen Versuchen geht hervor, dass das Licht eine doppelte Wirkung ausübt. Bei mittleren Temperaturen findet mit steigendem Licht eine stete Zunahme der Geschwindigkeit statt. Je mehr sich hiervon die Temperaturen nach oben und unten entfernen, desto geringer werden bei steigender Lichtintensität die Geschwindigkeiten. Es wirken also bei normaler Temperatur die hohen Intensitäten noch fördernd auf die Strömung ein, während sie sowohl bei hoher als auch bei niedriger Temperatur schädigen.

VERSUCHE MIT *ELODEA CANADENSIS*.

Die Versuche mit *Elodea canadensis* zeigen gegenüber *E. densa* im Prinzip die gleichen Ergebnisse: Eine Beschleunigung der Bewegung durch Steigerung der Lichtintensität bei mittleren Temperaturen, und eine Schädigung durch starkes Licht bei hohen und tiefen Temperaturen.

Unter Intensität I liegt das Optimum der Bewegung unmittelbar vor dem Temperatur-Maximum bei $+35^{\circ}\text{C}$. *Elodea densa* gegenüber bestehen nur Unterschiede quantitativer Art in dem Sinne, dass die Maximalgeschwindigkeit bei *Elodea canadensis* grösser ist (ca. 1,0 mm gegenüber 0,6 mm pro Minute).

Mit dem Übergang zu Intensität II verschiebt sich das Optimum auf $+25^{\circ}$. Oberhalb dieser Temperatur ist eine bedeutende Verlangsamung gegenüber Intensität I zu beobachten. Da früher schon gezeigt ist, dass Intensität I bei $+30^{\circ}\text{C}$. noch nicht schädigend wirkt, bedeutet eine Steigerung der Lichtintensität eine Schädigung der Strömung. Eine schwache Beschleunigung findet nur bei mittleren Temperaturen statt.

Durch Einschalten von Intensität III werden wohl bei $+15^{\circ}$ und $+20^{\circ}\text{C}$. die Geschwindigkeiten noch etwas erhöht, bei höheren und tieferen Temperaturen aber treten Schädigungserscheinungen auf.

VERSUCHE MIT *VALLISNERIA SPIRALIS*.

Vallisneria spiralis zeigt den beiden *Elodea*-Arten gegenüber prinzipiell nichts Besonderes. Ihre Empfindlichkeit gegen Licht scheint nur insoweit gering zu sein, als bei hohen und tiefen Temperaturen bei Steigerung der Lichtintensität eine Sistierung der Strömung nicht erfolgt. Nur die absoluten Geschwindigkeiten liegen höher, als bei *Elodea densa* und *E. canadensis*. Unter Intensität I liegt das Optimum mit einer Geschwindigkeit von 2,0 mm pro Minute bei $+40^{\circ}\text{C}$. Es ist dies die höchste überhaupt erreichte Geschwindigkeit bei den drei untersuchten Pflanzen.

Intensität II bedingt bei allen Temperaturen bis auf $+35^{\circ}\text{C}$. und $+40^{\circ}\text{C}$., sondern bei $+35^{\circ}\text{C}$.

Unter Intensität III liegt das Optimum noch tiefer, nämlich bei $+25^{\circ}\text{C}$.

TABELLE

Protoplasmaströmung von Elodea densa bei verschiedenen Temperaturen unter gleichem

Versuchsprinzip: 15 Minuten Intens. I. (Minute 1-15) } Beobachtung an
 5 " " II. (" 15-20)
 5 " " III. (" 20-25)

Tem. in C.	Nach 15 Minuten Intens. I.				Nach 5 Minuten J			
	durchliefe ein Chlorophyllkorn den Weg von 1/10 mm in Sekunden:		Wardie Strömungs- geschw. in mm pro Minute:		durchliefe ein Chlorophyllkorn den Weg von 1/10 mm in Sekunden:			
	bei Versuch:		im Durchschnitt:		bei Versuch:		im I	
+ - 0°	a b c	∞ ∞ ∞	∞	0	a b c	∞ ∞ ∞	∞	
+ 5°	a b c	lang. Zt. " " " "	lange Zeit.	< 0,1	a b c	lang. Zt. " " " "	lange Zeit.	
+ 10°	a b c	36,5 38,9 40,4	38,6	0,155	a b c	34,7 37,1 38,6	36,8	
+ 15°	a b c	29,1 26,0 25,9	27,0	0,222	a b c	27,2 24,0 24,1	25,1	
+ 20°	[a] b c d	[30,9] 22,4 25,5 28,0	25,3	0,238	[a] b c d	[29,2] 20,9 23,8 26,1	23,6	
+ 25°	a b c	15,4 11,9 15,0	14,1	0,426	a b c	13,7 10,0 13,5	12,4	
+ 30°	a b c	14,7 13,0 12,8	13,5	0,444	a b c	13,8 12,2 12,4	12,8	
+ 35°	a b c	9,0 10,4 11,5	10,3	0,583	a b c	10,1 16,9 17,1	16,7	
+ 40°	a b c	∞ ∞ ∞	∞	0	a b c	∞ ∞ ∞	∞	

ELLE 3.

leitiger Verwendung verschiedener Lichtintensitäten.

in Schluß jeder Belichtungsperiode, also nach $14\frac{1}{2}$, $19\frac{1}{2}$, u. $24\frac{1}{2}$ Minuten.

Intens. II.		Nach 5 Minuten Intens. III.			
in	Wardie Strömungsge- schw. in % pro Minute:	durchliefein Chlorophyllkorn den Weg von % in Sekunden:		Wardie Strömungsge- schw. in % pro Minute:	
Durchschnitt:		bei Versuch:		im Durchschnitt:	
	0	a	∞	∞	0
	<0,1	b	∞	∞	0
		c	∞		
	0,163	a	lang. Zi.	lange Zeit.	<0,1
		b	" "		
		c	" "		
	0,239.	a	25,0	22,1	0,271
		b	24,1		
		c	20,2		
	0,254	[a]	[25,7]	20,1	0,299
		b	17,4		
		c	20,1		
		d	22,8		
	0,484	a	14,2	13,3	0,451
		[b]	[19,6]		
		c	12,4		
	0,469	a	21,9	21,4	0,280
		b	20,7		
		c	21,6		
	0,359	a	∞	∞	0
		b	∞		
		c	∞		
	0	a	∞	∞	0
		b	∞		
		c	∞		

TABI

Der Einfluß von Methylenblau

Versuchsprinzip: Die Blätter werden nach 15-20 stündl. Behandlung mit verd. festgesetzt. Nach 15 minüt. Lichteinwirkung wird die Beteiligung

Präparat in	Behandlg. in Stunden:	Temp. in C.	Beginn der Strömung nach:	Nach 15 Minuten Strömen im Blatte an Zellen ca:	α - Zellen.		
					Zeit in Sekund.	pro %	W pr
Methylen- blau.	16	17,5°	8 Sek.	75%	16,6 16,6 16,0 17,2 16,0	16,5	o
Wasser	✓		1 Min. 6 Sek.	50%	16,0 17,2 16,0 16,0 18,4		
Methylen- blau	16 1/2	18,0°	5 Sek.	90%	18,4 16,6 16,0 17,2 18,4	17,3	c
Wasser	✓		1 Min. 18 Sek.	75%	20,8 16,0 17,2 14,6 16,0		
Methylen- blau	17 1/2	18,5°	16 Sek.	90%	19,0 16,0 15,4 19,6 16,0	16,8	c
Wasser	✓		42 Sek.	75%	11,4 14,8 17,2 16,6 15,0		
Methylen- blau	18	18,0°	8 Sek.	75%	15,0 16,8 20,2 16,0 15,8	16,7	c
Wasser	✓		1 Min.	50%	14,3 18,4 16,8 20,2 18,6		

Tafel 8.

auf die Protoplasmaströmung.

id. Methylenblau-Lösung im Mikroskopeingestellt, belichtet und das Beginnen der Strömung der Zellen an der Strömung geschätzt und die Strömungsgeschw. in den α , β , γ , δ -Zellen abgestoppt.

Zeit in Minute	β -Zellen.			γ -Zellen.			δ -Zellen.
	Zeit in Sekund.	pro %	Weg in % pro Minute.	Zeit in Sekund.	pro %	Weg in % pro Minute.	Befund:
0,36	18,4 18,4 20,8 19,6 19,6	} 19,4	0,31	22,0 21,2 18,4 22,0 20,8	} 20,9	0,29	Überall Ruhe.
0,36	∕	∕	∕	∕	∕	∕	∕
0,35	19,6 22,0 20,8 19,6 18,4	} 20,1	0,3	20,8 26,8 18,4 22,0 22,0	} 22,0	0,27	Überall Ruhe.
0,36	∕	∕	∕	∕	∕	∕	∕
0,36	22,0 18,4 19,0 17,2 16,0	} 18,5	0,32	21,0 21,4 18,4 22,0 19,0	} 20,4	0,29	Überall Ruhe.
0,38	∕	∕	∕	∕	∕	∕	∕
0,36	21,8 18,0 16,6 17,0 18,4	} 18,4	0,33	19,2 18,6 17,2 20,4 16,9	} 18,5	0,33	Überall Ruhe.
0,34	∕	∕	∕	∕	∕	∕	∕

DER EINFLUSS VERSCHIEDENER STRAHLENARTEN AUF DIE PROTOPLASMA-STRÖMUNG.

Der Einfluss verschiedener Strahlenarten auf die Protoplasma-Strömung ist bereits von anderer Seite geprüft worden. NOTHMANN-ZUCKERKANDL (21) hat gefunden, dass allen sichtbaren Strahlen, ferner auch den ultravioletten und ultraroten, eine erregende Wirkung auf die Protoplasma-Strömung zukommt. Als Lichtfilter wurden zu diesen Versuchen teils Küvetten mit farbigen Lösungen verwendet; auch mit spektral zerlegtem Licht wurde gearbeitet. Die untersuchten Strahlenarten begannen beim Ultrarot und erstreckten sich über den sichtbaren Teil des Spektrums bis zum Ultraviolett.

Von besonderem Interesse ist zunächst die Angabe, dass die ultraroten Strahlen ebenfalls Strömung erregen. Eine direkte Beobachtung im ultraroten Licht ist natürlich unmöglich. Soweit aus den kurzen Angaben von NOTHMANN-ZUCKERKANDL (21) zu ersehen ist, hat die Autorin die Prüfung in der Weise vorgenommen, dass sie eine fast unwirksame Lichtquelle (Gaslicht unter Vorschaltung von Solenglas) zur Beobachtung benutzte; aber, und das ist prinzipiell wichtig, beobachtet wurde in Licht. Es muss daher mit der Möglichkeit gerechnet werden, dass nicht allein die ultraroten Strahlen, sondern die Lichtstrahlen die erregende Ursache sind.

Die Prüfung der Wirkung der ultraroten Strahlen wurde im folgenden in der Weise vorgenommen, dass Blätter von *Elodea* zunächst in der kleinen Apparatur, aber unter Fortlassung des Wärmefilters belichtet wurden. Nachdem Zellen mit guter Protoplasma-Strömung eingestellt waren, wurde eine Küvette mit Jod in Schwefelkohlenstoff zwischengeschaltet, sodass nunmehr nur die ultraroten Strahlen einwirken konnten. Beobachtet wurde nach einer Stunde, indem die Küvette entfernt wurde und das volle Licht wieder einwirkte. Es war früher nachgewiesen worden, dass eine einstündige Verdunkelung genügt, um die Protoplasma-Strömung zum Stillstand zu bringen. In den vorliegenden Versuchen zeigte es sich, dass die ultraroten Strahlen während der einstündigen Einschaltung des Filters nicht imstande waren, die Strömung aufrecht zu erhalten. Denn wenn man nach der einstündigen Einwirkung der ultraroten Strahlen wieder belichtet, sieht man, dass die Strömung erloschen ist; sie setzt aber kurze Zeit nach der Wiederbelichtung ein. Ohne Licht gibt es also auch hier keine Strömung. Die ultraroten Strahlen erhalten die Protoplasma-Strömung nicht, wirken also wie Dunkelheit; die Temperaturerhöhung während ihrer Einwirkung vermag nicht die Strömung auszulösen. Diese Beobachtung steht im besten Einklang mit den Versuchen, in denen während der einstündigen Verdunkelungsdauer eine Temperaturerhöhung durch Heizung stattfand und dadurch ebenfalls keine Strömung eingeleitet wurde. Auf Grund meiner Versuche muss daher die Erregung der Protoplasma-Strömung durch ultrarote Strahlen abgelehnt werden. Die ultraroten Strahlen schaffen nur einen Tonus, unter dem die Wirkung der Lichtstrahlen deutlicher bzw. anders hervortritt. Auch bei den Versuchen von NOTHMANN-ZUCKERKANDL (21) liegt es offensichtlich so, dass nicht die ultraroten Strahlen die Strömung auslösten; vielmehr reicht das angeblich unwirksame Licht bei Zimmertemperatur nicht aus, um Strömung zu erregen, wohl aber bei höherer Temperatur, genau wie in den früher erwähnten eigenen Versuchen Temperaturerhöhung ein schnelleres Auslösen der Strömung durch Licht bewirkte, also sozusagen die pflanzlichen Zellen sensibilisierte.

Einwandfrei erscheinen dagegen diejenigen Versuche von NOTHMANN-ZUCKERKANDL (21), in denen die sichtbaren Teile des Spektrums in ihrer Wirkung auf Plasma-Strömung geprüft sind, da hier in dem jeweiligen Licht selbst beobachtet wurde. NOTHMANN-ZUCKERKANDL (21) fand, dass durch rot von 600 - 650 μ nach kurzer Zeit Plasma-Strömung erregt wurde, während blau und violett ebenfalls, aber schwächer, wirken.

Die im folgenden wiedergegebenen eigenen Versuche verfolgen eine ähnliche Fragestellung. Untersucht wurde die Protoplasma-Strömung in blauem, grünem und rotem Licht. Als Lichtfilter dienten Lifa-Farbfilter von folgenden Spektralbezirken:

Blau: 430 - 485 μ

Grün: 510 - 570 μ

Rot: > 590 μ

Die Filter wurden einfach in den Strahlengang der grossen Apparatur eingeschaltet. Wenn in den folgenden Ausführungen die Bezeichnungen Intensität (I), (II), (III) verwendet werden, so soll damit gesagt sein, dass Lichtquelle und Schlitzgrössen der Sektoren denen von Intensität I, II, III gleich sind. Die Intensität im Präparat ist natürlich infolge der Farbfilter eine andere. Intensität (I) konnte in blauem Licht nicht verwendet werden, weil das Präparat zu schwach beleuchtet wurde, sodass Beobachtungen unmöglich waren. Es wurde daher bei blauem Licht mit den Intensitäten (II) und (III), bei rotem und grünem Licht mit den Intensitäten (I), (II) und (III) gearbeitet. Die Temperaturen sind jeweils angegeben. Als Material wurde zunächst *Vallisneria spiralis* benutzt, da einerseits Unregelmässigkeiten in der Strömung hier geringer sind, als bei *Elodea*, andererseits die Strömungsgeschwindigkeit am grössten ist und daher eine Bewegung bei schwacher Beleuchtung (blaues Licht) deutlich erkannt wird.

In besonderen Vorversuchen mit Intensität (II) wurde zunächst festgestellt, dass jede Strahlenart die Bewegung beschleunigt, und dass in jeder der Lichtarten sich bald eine bestimmte Geschwindigkeit einstellt, die für lange Zeit (45 Minuten) konstant bleibt. In den Hauptversuchen, von denen in Tabelle 6 und 7 zwei Beispiele wiedergegeben sind, wurde dann bei einer Zelle der Einfluss der Lichtart dadurch untersucht, dass nach 6 - 10 Minuten die Lichtart gewechselt wurde. Die Versuchsergebnisse in Tabelle 6 und 7 zeigen, dass die Geschwindigkeit der Strömung vom blauen Teil des Spektrums bis zum roten zunimmt. Weiter oben ist nun nachgewiesen, dass die Geschwindigkeit auch von der Intensität der Belichtung mit bestimmt wird; daher lag der Gedanke nahe, dass auch im vorliegenden Fall nicht das Licht der verschiedenen Strahlenbezirke, sondern die verschieden grosse Intensität der betreffenden Strahlenbezirke massgebend war.

In dieser Hinsicht geben weitere Versuche mit blauem, grünem und rotem Licht Aufschluss, in denen durch Steigerung der Lichtintensität von (II) auf (III) bzw. von (I) auf (III) innerhalb jedes Strahlenbezirkes eine Steigerung der Geschwindigkeit erzielt werden konnte. Blaues Licht und Intensität (III) gibt gleich gute Strömung wie etwa rotes Licht und Intensität (II). Die Intensitätsfrage spielt also offensichtlich die Hauptrolle.

Diese Versuche wurden mit *Elodea* wiederholt. *Elodea* ist *Vallisneria* insoweit vorzuziehen, als hier durch Verdunkelung die Strömung sistiert wird; der erregende Einfluss der einzelnen Strahlenarten muss also besonders scharf hervortreten. Aber auch hier konnten zwischen den untersuchten Strahlenbezirken diesbezüglich keine Unterschiede festgestellt werden. Im übrigen stimmen die Versuchsergebnisse mit denen von *Vallisneria* durchaus überein. Auch hier ist naturgemäss bei gleichbleibender Lichtquelle die Intensität der einzelnen Strahlenarten verschieden; blaues Licht wirkt in genügender Intensität ebenfalls strömungserregend. Wünschenswert ist natürlich eine Abstimmung auf gleiche Intensität, wie das von NOTHMANN-ZUCKERKANDL (21) gemacht wurde. Leider standen mir die geeigneten Apparate nicht zur Verfügung. Eine Wiederholung der Versuche von NOTHMANN-ZUCKERKANDL (21) wäre wünschenswert. Bei dieser Wiederholung wäre vor allem darauf zu achten, dass die Objekte **v o r h e r** mikroskopisch eingestellt, dann verdunkelt und sofort nach der Wiederbelichtung mit den verschiedenen Strahlenarten beobachtet werden.

ÜBER STIMULATION VON PROTOPLASMA-STRÖMUNG DURCH CHEMISCHE STOFFE.

ALLGEMEINES.

Es ist bekannt, dass viele chemische Stoffe, die in starker Konzentration für die pflanzliche Zelle giftig sind, in verdünnter Lösung stimulierend wirken. RAULIN (28) gibt für Pilze eine nicht unbedeutende Steigerung des Erntegewichtes bei Zugabe von geringen Mengen Mangan oder Zinksalzen an, was durch die späteren Untersuchungen von PFEFFER (23) und RICHARDS (28) bestätigt wird. FRANK und KRÖGER finden, dass durch Bespritzen von Kartoffelstauden mit einer Kupfervitriol-Kalkbrühe der Knollenertrag und auch die Stärkebildung in den Knollen erhöht wird. PFEFFER (24)

TABELLE 6.

DIE STRÖMUNGSGESCHWINDIGKEIT BEI VALLISNERIA SPIRALIS
IN BLAUEM, GRÜNEM UND ROTEM LICHT.

Versuchsprinzip: Einstellung einer gut strömenden Zelle; nach einstündiger Verdunkelung Belichtung des gleichen Blattes zuerst 7 Minuten mit blauem, dann 7 Minuten mit grünem und 8 Minuten mit rotem Licht. Beobachtet wurde jeweils dieselbe Zelle, die vor der Verdunkelung als gut strömend eingestellt war. Temperatur 20° C.

Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg von 1/10 mm

in <u>blauem</u> Licht		in <u>grünem</u> Licht		in <u>rotem</u> Licht	
(während Min. 0-7)		(während Min. 7-14)		(während Min. 14-22)	
nach 1/4 Min.	in 9,6 Sek.	nach 7 1/2 M.	in 7,2 Sek.	nach 14 1/2 M.	in 8,4 Sk.
" 1/2 "	" 12,0 "	" 8 "	" 8,4 "	" 15 "	" 7,2 "
" 1 1/4 "	" 10,4 "	" 8 3/4 "	" 6,6 "	" 15 1/2 "	" 7,2 "
" 1 3/4 "	" 9,0 "	" 9 1/2 "	" 7,2 "	" 17 "	" 6,0 "
" 2 1/2 "	" 8,4 "	" 10 "	" 7,8 "	" 17 1/2 "	" 7,2 "
" 3 1/2 "	" 11,4 "	" 10 1/2 "	" 7,8 "	" 18 1/4 "	" 9,0 "
" 4 "	" 9,0 "	" 11 "	" 9,0 "	" 19 "	" 7,2 "
" 4 3/4 "	" 10,4 "	" 11 1/4 "	" 6,0 "	" 20 1/4 "	" 6,0 "
" 5 1/4 "	" 9,0 "	" 12 "	" 7,8 "	" 21 1/4 "	" 6,6 "
" 5 3/4 "	" 9,0 "	" 12 1/4 "	" 8,0 "	" 21 3/4 "	" 8,4 "
" 6 1/2 "	" 10,8 "	" 12 3/4 "	" 8,4 "	" 22 "	" 6,0 "
		" 13 1/4 "	" 6,6 "		

Im Durchschnitt:

9,9 Sek. pro 1/10 mm

7,5 Sek. pro 1/10 mm

7,2 Sek. pro 1/10 mm

Geschwindigkeit:

0,61 mm/Min.

0,8 mm/Min.

0,83 mm/Min.

TABELLE 7 (wie oben).

Versuchsprinzip: Einstellung einer gut strömenden Zelle; nach einstündiger Verdunkelung Belichtung des gleichen Blattes zuerst 8 Min. mit blauem, dann 8 Min. mit grünem und 6 Min. mit rotem Licht. Beobachtet wurde jeweils dieselbe Zelle, die vor der Verdunkelung als gut strömend eingestellt war. Temperatur 19,5° C.

Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg von 1/10 mm

in <u>blauem</u> Licht		in <u>grünem</u> Licht		in <u>rotem</u> Licht	
(während Min. 0-8)		(während Min. 8-16)		(während Min. 16-22)	
nach 1/4 Min.	in 10,2 Sek.	nach 8 3/4 M.	in 9,0 Sek.	nach 16 1/2 M.	in 6,6 Sk.
" 3/4 "	" 12,0 "	" 9 1/2 "	" 9,0 "	" 17 "	" 6,0 "
" 1 1/4 "	" 12,0 "	" 10 "	" 8,4 "	" 18 "	" 8,4 "
" 1 1/2 "	" 12,0 "	" 10 1/2 "	" 11,4 "	" 18 1/4 "	" 6,0 "
" 2 "	" 9,6 "	" 11 "	" 7,8 "	" 19 "	" 7,2 "
" 2 1/2 "	" 9,0 "	" 11 3/4 "	" 7,2 "	" 22 "	" 6,0 "
" 3 "	" 9,0 "	" 12 1/4 "	" 8,4 "		
" 4 1/4 "	" 10,4 "	" 12 1/2 "	" 9,0 "		
" 5 "	" 9,2 "	" 13 1/4 "	" 7,8 "		
" 6 1/4 "	" 9,6 "	" 15 1/2 "	" 8,4 "		
" 6 3/4 "	" 10,2 "				
" 7 1/4 "	" 10,8 "				

Durchschn: 10,3 S.p. 1/10 mm

8,6 Sek. pro 1/10 mm

6,7 Sek. pro 1/10 mm

Geschwind: 0,58 mm/Min.

0,70 mm/Min.

0,89 mm/Min.

führt diese Beobachtungen auf eine Steigerung der Assimilationstätigkeit zurück. POPOFF (26) und GLEISBERG (6) erhielten durch die Behandlung von Samen mit den Lösungen verschiedener Salze bessere Erträge, vor allem mit Magnesium- und Mangan-Salzen, die als Sauerstoffüberträger eine Rolle spielen sollen. Auch bei Quecksilber ist eine Stimulationswirkung beobachtet. SPIECKERMANN (34) weist darauf hin, dass die Behandlung von Roggen mit Chlorphenolquecksilber (Uspulun) einen besseren Ertrag zur Folge hat.

Der Gedanke, dass auch die Protoplasmaströmung durch chemische Stoffe angeregt werden kann, ist im Hinblick auf die vorstehenden Feststellungen recht naheliegend. Bereits HAUPTFLEISCH (7) hat gefunden, dass "durch Einlagerung der Sprosse in eine verdünnte Methylenblaulösung die Strömung hervorgerufen wurde." Im übrigen hat nur noch LAKON (18) einen Fall von Stimulationswirkung auf Plasmaströmung erwähnt, der sich auf 0,005 % Schwefelsäure bezieht.

VERSUCHE MIT METHYLENBLAU.

Im Hinblick auf die Angaben von Hauptfleisch (7), wonach verdünnte Methylenblau-Lösungen stimulierend wirken, wurden die ersten Versuche mit Methylenblau durchgeführt. Dieser Farbstoff erscheint zu derartigen Untersuchungen deshalb gut geeignet, weil er verhältnismässig ungiftig ist. BENECKE-JOST (1) erwähnen auf Grund der umfangreichen Untersuchungen von PFEFFER (25) dass dem Methylenblau unter allen Anilinfarbstoffen die geringste Giftwirkung zukommt, und dass es in Konzentrationen von 1 : 100 000 und sogar 1 : 10 000 noch von den Pflanzen ohne Schädigung ertragen wird, was mit den Untersuchungen von HAUPTFLEISCH (7) und auch WIELER (37) übereinstimmt. Es ist selbstverständlich, dass die Empfindlichkeit der einzelnen Pflanzen verschieden gross sein kann, sodass die Angaben VAN WISSELINGHs (38) über Schädigung von *Spirogyra* durch schwache Methylenblau-Lösungen keinen Widerspruch dazu darstellen, dass Methylenblau-Lösungen an sich verhältnismässig ungiftig sind.

In meinen eigenen Versuchen mit *Elodea canadensis* wurde eine Lösung von 1 : 200 000 (0,005 %) Methylenblau in destilliertem Wasser verwendet. Diese Konzentration wurde gewählt, weil die Schädigungsgrenze nach Möglichkeit nicht erreicht werden durfte; andererseits reichte die Lösung vollständig aus, um trotz der grossen Verdünnung noch eine Speicherung des Farbstoffes in den Zellen beobachten und damit die Wirkung des Methylenblau prüfen zu können.

Von einer bestimmten Schädigungskonzentration des Methylenblau für *Elodea* kann man im übrigen nicht sprechen, weil die Zellen desselben Blattes sich weitgehend verschieden verhalten. Ganz allgemein lässt sich sagen, dass die Schädigung der eintretenden Farbstoffspeicherung parallel geht. Neben stark geschädigten Zellen, die gleichzeitig starke Farbstoffspeicherung zeigen, finden sich regelmässig ungefärbte Zellen, die noch keine Spur von Schädigung aufweisen.

Die Frage der Farbstoffspeicherung aus schwachen Methylenblau-Lösungen ist von PFEFFER (25) näher untersucht worden. Danach sind es verschiedene Körper, vor allem die in den Pflanzen verbreiteten Gerbstoffe, welche die Bindung des Methylenblaus und damit seine Anreicherung in den Zellen bedingen. Dieser Prozess vollzieht sich bei den einzelnen Zellen des Blattes verschieden schnell. Man kann nach 15 stündigem Aufenthalt der Blätter in Methylenblau-Lösung folgende Zelltypen innerhalb des Blattes unterscheiden:

- a-Zellen = ungefärbt gebliebene Zellen,
- b-Zellen = Zellen mit etwas körnig blauem Inhalt im Zellsaft,
- c-Zellen = Zellen mit hellblau gefärbtem Zellsaft,
- d-Zellen = Zellen mit dunkelblau gefärbtem Zellsaft.

Diese vier verschiedenen Typen werden im folgenden streng auseinandergehalten, weil die Protoplasma-Strömung weitgehend von dem Speicherungsgrade innerhalb der Zellen abhängig ist.

Die Speicherung selbst setzt natürlich sofort ein, ist aber erst nach einer gewissen Zeit mikroskopisch zu sehen. Es kann kein Zufall sein, dass die Unter-

schiede in der Protoplasma-Strömung den Beobachtungen der Farbstoffspeicherung genau parallel gehen. Die Wirkung des Methylenblaus auf die Plasma-Strömung ist also ebenfalls nicht sofort nach dem Übertragen der Schnitte in Methylenblau-Lösung festzustellen, und es bedurfte erst umfangreicher Vorversuche, um die optimalen Zeiten zu ermitteln, nach denen, gerechnet vom Zeitpunkt der Übertragung in Methylenblau, eine Wirkung des Farbstoffes auf die Plasma-Strömung zu beobachten war. Die Versuche wurden in der Weise durchgeführt, dass etwa 10 Blätter von *Elodea canadensis* in eine Petrischale mit Methylenblaulösung der schon beschriebenen Konzentration gelegt und hierin unter dem Mikroskop in Zwischenräumen von 15 - 30 Minuten beobachtet wurden. Nach etwa 2 Stunden zeigten sich ganz vereinzelt sehr kleine Niederschläge, die von der Strömung oft mitgenommen wurden. Von hellblauen Zellen war noch nichts zu bemerken. Nach ca. 3 1/2 Stunden traten die ersten hellblauen Zellen unabhängig von denen mit körnigem Inhalt auf. Letztere hatten nur noch an Anzahl zugenommen, und ihr körniger Inhalt hatte sich vergrössert. Im Laufe der folgenden Stunden wurden Färbung und, was besonders wichtig war, auch die Strömung allgemein intensiver. Da nach 15 - 20 Stunden einerseits die Farbstoffspeicherung sehr deutlich war, andererseits nach dieser Zeit der stimulierende Einfluss auf die Plasma-Strömung sein Maximum erreicht hatte, wurde eine Einwirkungszeit von 15 - 20 Stunden für die folgenden Versuche gewählt.

Die Versuchstechnik wich insoweit von der in den früheren Abschnitten geschilderten ab, als im Hinblick auf die zwischen den Zellen zu beobachtenden Verschiedenheiten nicht nur eine einzelne Zelle während der Einwirkung der Farbstofflösung dauernd unter dem Mikroskop beobachtet werden konnte. Vielmehr mussten gleichzeitig eine grosse Anzahl von Zellen in ihrem Verhalten geprüft werden. Um Störungen durch ungleichmässige Belichtung während des längeren Aufenthaltes in der Methylenblau-Lösung vorzubeugen, wurden die Blätter von *Elodea*, die sich in kleinen Bechergläsern in Methylenblau-Lösung befanden, in Dunkelheit gehalten. Die Anfertigung der Präparate erfolgte bei einer dunkelblauen Lampe, deren sehr schwaches Licht die Plasma-Strömung nicht hervorrief. Die angefertigten Präparate wurden dann mikroskopisch in der kleinen Apparatur beobachtet. Sofort nach der Belichtung im Mikroskop wurde die Zeit in Sekunden festgestellt, nach der die Strömung in den Zellen des Blattes begann. Nach einer Belichtungsdauer von 15 Minuten wurde angegeben, der wievielte Teil des Blattes strömende Zellen aufwies. Gleichzeitig wurde auch die Strömungs-Geschwindigkeit des Plasmas der verschiedenen Zelltypen durch Abstoppen festgestellt. Aus je 5 Messungen an verschiedenen Zellen des gleichen Typus wurde das Mittel gezogen. Die Temperaturen lagen um 18° C; sie sind bei den einzelnen Versuchen jeweils angegeben.

Aus den folgenden Hauptversuchen, die in Tabelle 8 dargestellt sind, geht deutlich hervor, in welcher Weise die mit Methylenblau behandelten Blätter von den Kontrollen abweichen und welche Verschiedenheiten zwischen gefärbt und ungefärbt gebliebenen Zellen desselben Blattes in der Strömungs-Geschwindigkeit vorliegen. Wir müssen unterscheiden erstens zwischen einer Wirkung, welche die Anzahl der in einem Blatt strömenden Zellen prozentual beeinflusst und zweitens zwischen der Wirkung auf die Höhe der Geschwindigkeit in den jeweils strömenden Zellen.

Was zunächst den zweiten Punkt anbetrifft, so zeigen die Beobachtungen, dass die absolute Höhe der Strömungsgeschwindigkeit durch die Methylenblau-Behandlung nicht im Sinne einer Stimulation beeinflusst wird. Im Gegenteil lässt sich ganz allgemein feststellen, dass mit zunehmender Methylenblau-Speicherung eine Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit stattfindet, die bei den *d*-Zellen sogar zu vollständigem Stillstand führt.

Trotzdem müssen wir von einer Stimulationswirkung sprechen. Wenn man bei schwacher Vergrösserung die Blätter daraufhin beobachtet, wie hoch der Prozentsatz gut strömender Zellen ist, so kommt man bei den in Methylenblau liegenden Blättern zu wesentlich höheren Zahlen, als bei den Wasserkontrollen. Wenn wir von den *d*-Zellen absehen, strömen bei den mit Methylenblau behandelten Blättern wesentlich mehr Zellen. Das Bild ist so auffallend, dass ein Beobachtungsfehler bestimmt nicht vorliegen kann. Die stimulierende Wirkung besteht also darin, dass ein Teil der Zellen, die in Wasser keine Strömung aufweisen, durch die Methylenblau-Behandlung zur Strö-

nung gebracht wurden.

Eine Ausnahme bildeten, wie schon erwähnt, nur die *d*-Zellen, die tiefblauen Inhalt und völlige Sistierung der Protoplasma-Strömung aufwiesen. Diese Zellen hatten infolge der Plasma-Zusammenballung den Anschein toter Zellen, zeigten aber bei der Behandlung mit Kalisalpetrelösung noch deutlich Plasmolyse. Das Methylenblau hatte also hier wohl eine strömungshemmende, aber noch keine tödliche Wirkung gehabt.

Es fragte sich weiter, ob diese stimulierende Wirkung des Methylenblaus allein durch das Methylenblau hervorgerufen wird, oder ob eventl. auch eine Verschiedenheit in der Absorption des Lichtes dabei eine Rolle spielt. Um diese Frage zu klären, wurden obige Versuche in rotem, gelbem und blauem Licht wiederholt. Sie zeigten, dass sich die Verhältnisse im farbigen Licht denen im weissen Licht gegenüber in keiner Weise verändert hatten. Auch hier ist wieder mit der Zunahme der Methylenblau-Speicherung eine Abnahme der Geschwindigkeit des strömenden Plasmas für die Zelltypen α - σ und ein Stillstand der *d*-Zellen verbunden. Von einer Einwirkung des farbigen Lichtes auf die gespeicherten Zellen ist nichts zu erkennen. Es muss sich daher bei der Stimulation durch Methylenblau um eine rein chemische Reizung handeln.

VERSUCHE MIT ANDEREN FARBSTOFFEN.

Die Aufnahme von Farbstoffen in die lebende pflanzliche Zelle ist seit PFEFFER (25) vielfach Gegenstand von Untersuchungen geworden. Es ist hier nicht meine Aufgabe, auf die grundlegenden Arbeiten von OVERTON (22), RUHLAND (30), HÖBER (8) und KÜSTER (17) einzugehen, in denen vor allen Dingen ein Eindringen in den Mechanismus der Farbstoffaufnahme und der Farbstoffspeicherung versucht wurde. Bei der Auswahl der im folgenden in Bezug auf ihre Wirkung auf die Protoplasma-Strömung geprüften Farbstoffe waren die Angaben von KLEBS (13) massgebend, der sowohl basische, als auch saure Farbstoffe auf ihre Fähigkeit zur Vitalfärbung pflanzlicher Zellen geprüft hat. Unter diesen Farbstoffen wurden die folgenden daraufhin untersucht, ob sie imstande sind, Plasma-Strömung zu erregen.

1. Basische Farbstoffe. - Anilingrün (GRÜBLER), Chrysoidin (Bad. Anilin), Diamantfuchsin (GRÜBLER), Methylengrün I A (MEISTER LUCIUS), Methylviolett (GRÜBLER), Neutralrot (GRÜBLER), Safranin (GRÜBLER).

2. Saure Farbstoffe. - Alizarinrot (Bad. Anilin), Echtbraun O (MEISTER, LUCIUS), Helianthin (GRÜBLER), Methylorange (GRÜBLER).

Das Versuchsprinzip entsprach genau dem der Untersuchungen mit Methylenblau: Blätter von *Elodea canadensis* wurden in die Farbstofflösungen eingelegt und verdunkelt. Nach 15 Stunden wurde das Präparat 15 Minuten in der kleinen Apparatur belichtet und die Beteiligung der Zellen an der Strömung der mit Farbstoff behandelten Blätter mit denen der Kontrollen verglichen. Als Konzentrationen waren bei allen Farbstoffen 0,001 %, 0,003 % und 0,0001 % gewählt. Die Kontrollen wurden genau wie die Farbstofflösungen in destilliertem Wasser angesetzt.

Von sämtlichen untersuchten Farbstoffen wirken nur Neutralrot und Chrysoidin stimulierend. Während ersteres an Wirkung dem Methylenblau annähernd gleichkommt, bleibt letzteres erheblich dahinter zurück. Auch die Art der Speicherung bei Neutralrot und Chrysoidin bietet ein ähnliches Bild wie bei Methylenblau. In allen drei Konzentrationen ist die Speicherung des Farbstoffes und die Stimulation deutlich zu erkennen. Nur die ganz dunkel gefärbten Zellen zeigen Stillstand.

Alizarinrot, Echtbraun, Helianthin und Methylorange werden von *Elodea canadensis* nicht gespeichert. Selbst nach 60 Stunden sind in den Blättern keinerlei Färbungen zu bemerken. Sie haben durchaus normales Aussehen und auch die Strömung weicht in keiner Weise von der der Kontrollen ab.

Safranin wird in einer Konzentration von 0,0001 % nur sehr minimal gespeichert. In einer Lösung von 0,0003 %, in der die Aufnahme des Farbstoffes wesentlich stärker ist, zeigen nur die dunkel gefärbten Zellen Stillstand. Die übrige

gen Zellen der so behandelten Blätter haben durchaus normale Strömung.

Die Zellen der mit *Methylengrün* behandelten Blätter zeigen ausserordentlich starke Farbstoff-Speicherung. Bei einer Konzentration von 0,001 % ist die Zahl der gefärbten Zellen sehr gross, und da diese Zellen keine Plasma-Strömung mehr zeigen, ist das Gesamtergebnis als Hemmung der Protoplasma-Strömung aufzufassen. Bei 0,0003 % und 0,0001 % ist die Speicherung des Farbstoffes und natürlich auch die schädigende Wirkung entsprechend schwächer. Eine Stimulation der Zellen war bei keiner der erwähnten Konzentrationen festzustellen.

Anililingrün wird nur sehr langsam von den Zellen aufgenommen. Nach 15 Stunden sind nur wenig gefärbte Zellen zu sehen, die ebenfalls wieder keine Strömung aufweisen; die übrigen Zellen zeigen normales Strömungsverhalten. Im Hinblick auf die schwache Färbung wurden die Versuche auf 60 Stunden ausgedehnt. Hier war eine wesentlich stärkere Speicherung des Farbstoffes in den Zellen eingetreten; vor allem bei den Konzentrationen von 0,0003 % und 0,001 %, wo strömende Zellen überhaupt nicht mehr zu sehen waren. Bei 0,0001 % war vereinzelt noch Strömung in den Zellen festzustellen, in denen kein Farbstoff gespeichert war.

In *Gentianaviolett*-Lösung findet eine deutliche Speicherung des Farbstoffes nach 15 Stunden nur in einer Konzentration von 0,001 % statt. Sämtliche gefärbte Zellen zeigen Stillstand, aber auch unter den ungefärbten Zellen ist die Strömung unter normal.

Dem *Gentianaviolett* in der Wirkung sehr ähnlich ist *Methylviolett*. Nur ist die Speicherung des Farbstoffes auch bei den schwächeren Konzentrationen von 0,003 % und 0,0001 % deutlicher.

Grosse Giftigkeit besitzt *Diamantfuchsin*. In allen drei Konzentrationen zeigen die gefärbten Zellen Stillstand. Ihr Protoplasma ist teilweise von der Wand abgehoben. Nur wenige ungefärbte Zellen haben noch Strömung.

Wie aus dem Vorstehenden hervorgeht, lassen sich die Farbstoffe in drei Gruppen teilen:

1) Solche Farbstoffe, die nicht gespeichert werden und die überhaupt keinen Einfluss auf die Zellen von *Elodea* ausüben. Es erscheint als kein Zufall, dass das gerade die vier untersuchten sauren Farbstoffe sind, für die übrigens von KLEBS (13) die Erscheinung der Vitalfärbung nachgewiesen wurde. Die einzelnen pflanzlichen Objekte scheinen sich also in dieser Hinsicht recht verschieden zu verhalten.

2) Solche Farbstoffe, die bei schwacher Speicherung die Protoplasmaströmung anregen, bei starker hemmen. Das sind Methylblau, Neutralrot und Chrysoidin.

3) Solche Farbstoffe, die im Falle ihres Eindringens und ihrer Speicherung die Protoplasma-Strömung hemmen. Das sind die übrigen untersuchten basischen Farbstoffe: Anililingrün, Diamantfuchsin, Gentianaviolett, Methylengrün, Methylviolett und Safranin.

VERSUCHE MIT SÄUREN.

Es ist bereits erwähnt worden, dass nach LAKON (18) eine 0,005 % Schwefelsäure imstande ist, bei *Elodea* Protoplasma-Strömung hervorzurufen. Es wurden daher zunächst die Angaben über die Schwefelsäure geprüft und anschliessend hieran noch Salzsäure und Essigsäure untersucht. Die Versuche wurden in der gleichen Weise durchgeführt, wie die mit den Farbstoffen. Sie unterscheiden sich von diesen nur durch die Zeit, nach der abgelesen wurde. Während bei den Farbstoffversuchen erst nach 15 Stunden beobachtet werden konnte, wurden hier die Ablesungen schon nach einer Stunde vorgenommen und an dem gleichen Material nach 10 Stunden wiederholt. In der Zwischenzeit blieben die Blätter verdunkelt.

Die Versuchsergebnisse bestätigen die Angabe von LAKON (18) bezüglich der Schwefelsäure. Salzsäure wirkt ebenfalls schwach stimulierend, während bei Essigsäure nur festgestellt werden konnte, dass sie von einer gewissen Konzentration an schädigend wirkt.

Die Feststellung der Wirkung der verschiedenen Chemikalien auf die Protoplasma-Strömung erfolgte durch vergleichende mikroskopische Betrachtung mit Blättern,

die in genau gleicher Weise und die entsprechende Zeit in Wasser gehalten waren. Soweit Förderungen der Plasmaströmung beobachtet wurden, beziehen sich diese Förderungen nicht auf die absolute Höhe der erzielten Geschwindigkeit, sondern auf die Zahl der strömenden Zellen. Es bedeutet ++ Steigerung der Zahl der strömenden Zellen, + schwache Steigerung, normal = keine Unterschiede im Vergleich zur Kontrolle. Bei der Schädigung wird sowohl die Zahl der laufenden Zellen, wie auch die Geschwindigkeit in den laufenden Zellen herabgesetzt. Es bedeutet: - wenig unter normal, -- unter normal, --- weit unter normal, ---- fast überall Ruhe und "Stillstand", dass in dem ganzen Blatt keine strömende Zelle mehr vorhanden ist.

STIMULATIONS-VERSUCHE MIT SÄUREN.

Versuchsprinzip: Blätter von *Elodea canadensis* werden in Bechergläser mit Säurelösung übertragen. Nach 1 Stunde und nach 10 Stunden werden die Blätter im Mikroskop eingestellt, 15 Minuten lang belichtet und die hier auftretende Strömung mit der bei der Wasserkontrolle verglichen.

Stoff	Temp. in Grad C.	Konzentr.in mol.	Nach 1 Stunde	nach 10 Std.
=====				
9) Salzsäure	20,0	0,00001	normal	normal
"	20,0	0,0001	normal	+
"	20,0	0,0003	normal	++
"	20,0	0,001	--	Stillstand
"	20,0	0,003	Stillstand	
Wasser (Kontrolle)	20,0	-	normal	normal

10) Schwefelsäure	19,0	0,00001	normal	normal
"	19,0	0,00003	normal	normal
"	19,0	0,0003	+	+
"	19,0	0,001	----	Stillstand
"	19,0	0,003	Stillstand	
Wasser (Kontrolle)	19,0	-	normal	normal

11) Essigsäure	19,5	0,00001	normal	normal
"	19,5	0,00003	normal	normal
"	19,5	0,0001	normal	--
"	19,5	0,0003	normal	----
"	19,5	0,001	Stillstand	Stillstand
Wasser (Kontrolle)	19,5	-	normal	normal
=====				

VERSUCHE MIT SALZEN.

Im Hinblick auf die schon erwähnten Versuche von RICHARDS (29), POPOFF (26) und GLEISBERG (6) wurden zunächst einige Magnesium- und Mangansalze in verschiedenen Konzentrationen durchgeführt. Es zeigte sich, dass mit Ausnahme des Magnesiumsulfats eine Bestätigung der Angaben in der Richtung gefunden wurde, als eine grössere Anzahl von Zellen des behandelten Blattes sich an der Strömung beteiligte, wenn die Blätter in der betreffenden Lösung des Mangan- oder Magnesiumsalzes gehalten wurden. Solche stimulierenden Salze waren: Magnesiumchlorid, Manganchlorid, Mangansulfat und Mangannitrat.

Die Versuche mit anderen Salzen, wie Magnesiumsulfat, Kaliumnitrat, Natriumnitrat, Natriumchlorid und Calciumnitrat verliefen ausnahmslos negativ. Schädli-

gung wurde naturgemäss vielfach beobachtet. Sie tritt stets ein, wenn die Konzentration so hoch steigt, dass die Plasmolyse einen bestimmten Grad erreicht.

Von besonderem Interesse war die Untersuchung der Schwermetallsalze, nur bei einer sehr stark verdünnten Kupfersulfat-Lösung liess sich eine schwache stimulierende Wirkung beobachten. Dagegen verliefen Versuche mit Silbernitrat und Quecksilberverbindungen, von denen Sublimat und Chlorphenolquecksilber (Uspulun) untersucht wurden, negativ.

STIMULATIONSVERSUCHE MIT SALZEN.

Versuchsprinzip: Blätter von *Elodea canadensis* werden in Bechergläser mit Salzlösung übertragen. Nach 1 Stunde und nach 10 Stunden werden die Blätter im Mikroskop eingestellt, 15 Minuten lang belichtet und die hier auftretende Strömung mit der bei den Wasserkontrollen verglichen.

Stoff	Temp. in Grad C.	Konzentr. in mol.	Nach 1 Std.	Nach 10 Std.	Bemerkung.
12) Magnesiumchlorid	21,0	0,001	normal	normal	
"	21,0	0,01	normal	normal	
"	21,0	0,03	+	+	
"	21,0	0,1	+	++	
"	21,0	0,3	Stillstand	Stillstand	Plasmolyse
Wasser (Kontrolle)	21,0	-	normal	normal	
Magnesiumsulfat	21,5	0,001	normal	normal	
"	21,5	0,01	normal	normal	
"	21,5	0,03	normal	normal	
"	21,5	0,1	normal	-	
"	21,5	0,3	normal	Stillstand	
"	21,5	1	Stillstand	Stillstand	Plasmolyse
Wasser (Kontrolle)	21,5	-	normal	normal	
14) Manganchlorid	22,0	0,001	normal	normal	
"	22,0	0,01	normal	+	
"	22,0	0,03	normal	++	
"	22,0	0,1	normal	++	
"	22,0	0,3	Stillstand	Stillstand	Plasmolyse
Wasser (Kontrolle)	22,0	-	normal	normal	
15) Mangansulfat	21,5	0,001	normal	normal	
"	21,5	0,01	normal	+	
"	21,5	0,03	normal	+	
"	21,5	0,1	normal	++	
"	21,5	0,3	normal	++	
"	21,5	1	Stillstand	Stillstand	Plasmolyse
Wasser (Kontrolle)	21,5	-	normal	normal	
16) Mangannitrat	21,0	0,00001	normal	normal	
"	21,0	0,0001	normal	normal	
"	21,0	0,001	+	+	
"	21,0	0,01	+	++	
"	21,0	0,03	+	++	
"	21,0	0,1	-	-	
"	21,0	0,3	Stillstand	Stillstand	Plasmolyse
Wasser (Kontrolle)	21,0	-	normal	normal	

STIMULATIONSVERSUCHE MIT SALZEN
(Fortsetzung)

Stoff	Temp. in Grad C.	Konzentr. in mol.	Nach 1 Std.	nach 10 Std.	Bemerkung
17) Kaliumnitrat	21,0	0,01	normal	normal	
"	21,0	0,1	- -	Stillstand	
"	21,0	0,2	- - -		
"	21,0	0,5	Stillstand		Plasmolyse
Wasser (Kontrolle)	21,0	-	normal	normal	
18) Natrium-Nitrat	20,5	0,01	normal	normal	
"	20,5	0,1	normal	- -	
"	20,5	0,2	Stillstand	Stillstand	
"	20,5	0,5	Stillstand	Stillstand	Plasmolyse
Wasser (Kontrolle)	20,5	-	normal	normal	
19) Natriumchlorid	21,5	0,01	normal	normal	
"	21,5	0,1	normal	normal	
"	21,5	0,2	- - - -	Stillstand	
"	21,5	0,5	Stillstand		Plasmolyse
Wasser (Kontrolle)	21,5	-	normal	normal	
20) Calciumnitrat	21,0	0,01	normal	normal	
"	21,0	0,02	normal	normal	
"	21,0	0,1	normal	normal	
"	21,0	0,2	Stillstand	Stillstand	Plasmolyse
Wasser (Kontrolle)	21,0	-	normal	normal	
21) Silbernitrat	21,5	0,000001	normal	normal	
"	21,5	0,000003	normal	- - - -	
"	21,5	0,00001	normal	Stillstand	
"	21,5	0,0001	Stillstand		
Wasser (Kontrolle)	21,5	-	normal	normal	
22) Kupfersulfat	21,0	0,00001	normal	+	
"	21,0	0,0001	normal	- - - -	
"	21,0	0,0003	normal	Stillstand	
"	21,0	0,001	normal		
"	21,0	0,003	-		
"	21,0	0,01	- - - -		
"	21,0	0,03	- - - -		
"	21,0	0,1	Stillstand		
Wasser (Kontrolle)	21,0	-	normal	normal	
23) Sublimat	22,0	0,000001	normal	normal	
"	22,0	0,000003	normal	- - - -	
"	22,0	0,00001	normal	Stillstand	
"	22,0	0,00003	-		
"	22,0	0,0001	Stillstand		
Wasser (Kontrolle)	22,0	-	normal	normal	

STIMULATIONSVERSUCHE MIT SALZEN. (Fortsetzung).

Stoff.	Temp. in Grad C.	Konzentr. in %.	Nach 1 Std.	Nach 10 Std.
24) Chlorophenolqueck-	16,5	0,0001	normal	- - - -
silber (Uspulun)	16,5	0,0003	normal	Stillstand
"	16,5	0,001	normal	
"	16,5	0,003	- -	
"	16,5	0,01	Stillstand	
Wasser (Kontrolle)	16,5	-	normal	normal

VERSUCHE MIT ORGANISCHEN STOFFEN.

Bei den in den folgenden Tabellen 25 - 29 wiedergegebenen Versuchen mit organischen Stoffen konnte eine stimulierende Wirkung nicht festgestellt werden. Es sind daher hier nur die Konzentrationen angegeben, bei denen eine Verlangsamung der Strömung bzw. eine Schädigung der Zellen beobachtet wurde. Der Gehalt an organischen Stoffen, d.h. natürlich auch der Ernährungszustand der Zellen scheint also für die Protoplasmaströmung keine Rolle zu spielen. Damit in Einklang stehen die Ergebnisse von Hungerkultur-Versuchen, in denen *Elodea*-Pflanzen in dauernder Dunkelheit gehalten und täglich auf Protoplasma-Strömung untersucht wurden. Die ersten Absterbeerscheinungen zeigten sich nach ca. 8 Tagen, bei anderen Pflanzen fanden sich auch nach dreiwöchentlicher Verdunkelung Blätter mit lebenden Zellen. Alle diese Zellen zeigten bis zu ihrem Tode bei Wiederbelichtung Protoplasma-Strömung.

STIMULATIONS-VERSUCHE MIT ORGANISCHEN STOFFEN.

Versuchsprinzip: Blätter von *Elodea canadensis* werden in Bechergläser mit einer Lösung der organischen Stoffe übertragen. Nach 1 Stunde und nach 10 Stunden werden die Blätter im Mikroskop eingestellt, 15 Minuten lang belichtet und die hier auftretende Strömung mit der bei den Wasserkontrollen verglichen.

Stoff	Temp. in Grad C.	Konzentr. in mol	Nach 1 Std.	Nach 10 Std.	Bemerkung
25) Rohrzucker	22,0	0,003	normal	normal	
"	22,0	0,03	normal	normal	
"	22,0	0,1	normal		
"	22,0	0,3	normal		
"	22,0	0,4	- - -	Stillstand	
"	22,0	0,5	Stillstand		Plasmolyse
Wasser (Kontrolle)	22,0	-	normal	normal	
26) Milchsucker	24,0	0,003	normal	normal	
"	24,0	0,03	normal	normal	
"	24,0	0,1	normal	normal	
"	24,0	0,3	normal	normal	
"	24,0	0,4	- - -	- - -	
"	24,0	0,5	Stillstand	Stillstand	Plasmolyse
Wasser (Kontrolle)	24,0	-	normal	normal	

STIMULATIONS-VERSUCHE MIT ORGANISCHEN STOFFEN.
(Fortsetzung).

Stoff	Temp. in Grad C.	Konzentr. in mol.	Nach 1 Std.	Nach 10 Std.	Bemerkung
27) Glycerin	23,0	0,03	normal	normal	
"	23,0	0,1	normal	normal	
"	23,0	0,3	normal	normal	
"	23,0	0,5	- - -	- - -	
"	23,0	0,7	Stillstand	Stillstand	Plasmolyse
Wasser (Kontrolle)	23,0	-	normal	normal	
28) Lävulose	20,0	0,003	normal	normal	
"	20,0	0,03	normal	normal	
"	20,0	0,1	normal	normal	
"	20,0	0,3	normal	normal	
"	20,0	0,4	-	- - -	
"	20,0	0,5	- - - -	Stillstand	grösstent. Plasmolyse
"	20,0	0,6	Stillstand		
Wasser (Kontrolle)	20,0	-	normal	normal	
29) Dextrose	21,5	0,003	normal	normal	
"	21,5	0,03	normal	normal	
"	21,5	0,1	normal	normal	
"	21,5	0,2	normal	normal	
"	21,5	0,3	normal	normal	
"	21,5	0,4	- - -	Stillstand	
"	21,5	0,5	Stillstand		Plasmolyse
Wasser (Kontrolle)	21,5	-	normal	normal	

HAUPTERGEBNISSE.

1) Die Protoplasma-Strömung bei *Elodea canadensis* und *E. densa* findet nur im Lichte statt. Eine einstündige Verdunkelung bedingt Erlöschen der Protoplasma-Strömung.

Bei *Vallisneria* findet Protoplasma-Strömung auch in verdunkelten Zellen statt, jedoch ist auch hier ein fördernder Einfluss des Lichtes unverkennbar.

2) Ein Ersatz der Wirkung der Lichtstrahlen durch Wärmestrahlen ist nicht möglich. Wärmestrahlen spielen nur insoweit eine Rolle, als sie einen Reizzustand schaffen, bei dem die Lichtstrahlen ihre Wirkung äussern können.

3) Steigende Lichtintensität bewirkt ein schnelleres Einsetzen der Protoplasma-Strömung und die Erreichung höherer Geschwindigkeiten; jedoch macht sich bei hohen Lichtintensitäten gleichzeitig auch eine schädigende Wirkung bemerkbar.

4) Die schädigende Wirkung des Lichtes hängt gleichzeitig von der Höhe der Temperatur ab. Sie ist vor allem bei höheren Temperaturen von etwa 30° C. stärker als bei Temperaturen von 15° C. Diese gegenseitige Bedingtheit von Licht und Temperatur gestattet nicht die Feststellung absoluter Licht- und Temperatur-Optima.

5) Die verschiedenen Strahlenarten wirken in erster Linie dadurch verschieden, dass ihre Intensitäten verschieden sind. Bei Anwendung geeigneter Intensitäten lassen sich mit blauem Licht ebenso gute Strömungseffekte erzielen, wie mit grünem und rotem Licht.

Ultraviolette Strahlen sind für sich nicht imstande, Protoplasma-Strömung auszulösen.

6) Eine stimulierende Wirkung auf die Protoplasma-Strömung konnte nicht insoweit festgestellt werden, als die maximale Geschwindigkeit als solche in strömenden Zellen gesteigert wurde, wohl aber insoweit, als die Zahl der strömenden Zellen eine Erhöhung erfuhr.

Stoffe, die in dieser Hinsicht stimulierend wirkten, waren: Methylblau, Neutralrot, Chrysoidin, Salzsäure, Schwefelsäure, Magnesiumchlorid, Manganchlorid, Mangansulfat, Mangannitrat und Kupfersulfat.

Obige Untersuchungen wurden im Botanischen Institut der Technischen Hochschule zu Braunschweig ausgeführt.

Herrn Professor Dr. G. GASSNER bin ich für das Interesse, dass er stets meiner Arbeit entgegenbrachte und für die Ratschläge, die er mir erteilte, zu grossem Dank verpflichtet.

TABELLEN.

Elodea canadensis.

Intens. I		Temp. 15° C.	
Beginn der Strömung nach ca. 1 1/4 Min.			
Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg von 1/10 mm			
nach 2 1/2 Min. in	über 60 Sek.		
" 4 "	" "	38,4 "	
" 5 1/2 "	" "	30,4 "	
" 7 "	" "	24,1 "	
" 8 1/2 "	" "	24,0 "	
" 10 1/2 "	" "	20,1 "	
" 14 "	" "	22,1 "	
" 15 1/2 "	" "	19,6 "	
" 18 "	" "	22,4 "	
" 25 "	" "	24,2 "	
" 27 1/2 "	" "	19,0 "	
" 30 "	" "	18,6 "	
" 35 "	" "	22,3 "	
" 40 "	" "	20,4 "	

Intens. I		Temp. 15° C.	
Beginn der Strömung nach ca. 1 Minute			
Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg von 1/10 mm			
nach 5 Min. in	über 60 Sek.		
" 6 "	" "	über 60 "	
" 8 "	" "	60 "	
" 10 1/2 "	" "	22,1 "	
" 14 1/2 "	" "	20,3 "	
(Beobachtungszelle ruhig, die anderen Zellen in guter Strömung. Störung ausgeglichen nach 26 Minuten.)			
" 26 1/2 Min. in	über 19,9 Sk.		
" 30 "	" "	23,1 "	
" 38 1/4 "	" "	20,2 "	
" 40 "	" "	22,6 "	

Intens. I		Temp. 15° C.	
Beg. der Strömung nach ca. 2 1/2 Min.			
Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg von 1/10 mm			
nach 3 1/4 Min. in	über 60 Sek.		
" 5 1/2 "	" "	58,4 "	
" 6 "	über 60 "		
" 7 1/4 "	" "	36,5 "	
" 9 "	" "	22,3 "	
" 11 1/2 "	" "	16,5 "	
" 14 "	" "	21,2 "	
" 15 1/4 "	" "	20,7 "	
" 17 1/2 "	" "	19,1 "	
" 26 "	" "	23,2 "	
" 35 "	" "	18,9 "	
" 40 "	" "	22,6 "	

Intens. I		Temp. 15° C.
Beg. der Strömung nach ca. 1 3/4 Min.		
Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg von 1/10 mm		
nach 3 Min. in		40,2 Sk.
" 3 1/2 " "		33,0 "
" 3 3/4 " "		36,0 "
" 4 " "		59,1 "
" 5 " "		32,4 "
" 5 1/4 " "		30,2 "
" 6 " "		31,4 "
" 10 " "		28,4 "
" 10 1/2 " "		23,2 "
(Störungen in der Beobachtungszelle, die sich nach 16 Minuten ausglich)		
nach 16 Min. in		27,6 Sk.
" 22 " "		33,6 "
" 23 " "		21,4 "
" 25 " "		25,0 "
" 28 " "		30,2 "

Elodea canadensis cont.

Intens. II Temp. 15° C.

Beginn der Strömung nach ca. 10 Sek.
Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg
von 1/10 mm

nach 1 1/2 Min. in	32,4 Sek.
" 2 1/2 " "	18,0 "
" 3 " "	18,4 "
" 5 " "	21,8 "
" 6 1/2 " "	19,2 "
" 9 " "	18,8 "
" 12 1/4 " "	22,8 "
" 15 1/2 " "	36,2 "
" 18 " "	30,0 "
" 19 1/4 " "	37,4 "
" 20 " "	36,0 "
" 25 " "	25,4 "
" 25 1/4 " "	25,8 "
" 30 " "	30,2 "
" 39 3/4 " "	31,6 "

Intens. II Temp. 15° C.

Beginn der Strömung nach ca. 1/2 Min.
Ein Chlorophyllk. durchlief den Weg
von 1/10 mm

nach 1 1/4 Min. in	35,0 Sek.
" 2 1/2 " "	21,2 "
" 4 " "	19,5 "
" 5 1/2 " "	22,4 "
" 7 1/2 " "	18,0 "
" 8 1/4 " "	19,2 "
" 10 " "	23,5 "
" 12 1/4 " "	20,4 "
" 15 " "	24,3 "
" 20 1/2 " "	28,5 "
" 22 " "	23,0 "
" 28 " "	30,5 "
" 35 1/4 " "	20,8 "
" 40 " "	29,5 "

Intens. II Temp. 15° C.

Beginn der Strömung nach ca. 1/4 Min.
Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg
von 1/10 mm

nach 1/2 Min. in	25,0 Sek.
" 3/4 " "	20,5 "
" 1 " "	25,0 "
" 1 1/4 " "	19,1 "
" 1 1/2 " "	16,0 "
" 3 " "	16,5 "
" 3 1/4 " "	16,5 "
" 4 1/2 " "	17,5 "
" 5 " "	15,0 "
" 7 " "	16,5 "
" 7 1/2 " "	20,0 "
" 8 " "	17,2 "
" 9 1/4 " "	20,0 "
" 11 " "	20,0 "
" 12 1/4 " "	20,0 "
" 14 " "	20,0 "
" 16 1/4 " "	20,0 "
" 17 " "	15,0 "
" 17 1/4 " "	16,5 "
" 20 1/2 " "	24,5 "
" 21 " "	22,6 "
" 29 " "	20,4 "
" 34 " "	20,0 "
" 38 " "	29,5 "
" 39 1/4 " "	30,5 "
" 40 " "	30,0 "

Intens. III Temp. 15° C.

Beginn der Strömung nach ca. 10 Sek.
Ein Chlorophyllk. durchlief den Weg
1/10 mm

nach 1 Min. in	12,0 Sek.
" 1 1/2 " "	12,0 "
" 2 " "	18,5 "
" 3 " "	18,0 "
" 4 1/4 " "	19,2 "
" 5 " "	17,5 "
" 5 3/4 " "	18,0 "
" 7 " "	24,3 "
" 8 " "	35,2 "
" 8 1/4 " "	20,5 "
" 9 " "	24,5 "
" 10 " "	26,4 "
" 11 1/4 " "	12,0 "
" 12 " "	30,5 "
" 13 " "	31,0 "
" 14 " "	42,5 "
" 16 " über	60,0 "

Elodea canadensis cont.

Intens. III Temp. 15° C.

Beginn der Strömung nach ca. 10 Sek.
Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg
von 1/10 mm

nach 1 Min. in	48,0 Sek.
" 4 1/4" "	36,2 "
" 5 1/4" "	24,0 "
" 6 " "	30,0 "
" 7 1/4" "	25,5 "
" 8 3/4" "	48,1 "
" 9 1/2" "	über 60,0 "
" 10 " "	" 60,0 "

Intens. III Temp. 15° C.

Beginn der Strömung nach ca. 5 Sek.
Ein Chlorophyllk. durchlief den Weg
von 1/10 mm

nach 1/4 Min. in	über	60,0 Sek.
" 1/2 " "		30,0 "
" 3/4 " "		28,2 "
" 1 " "		30,0 "
" 1 1/4 " "		21,4 "
" 1 1/2 " "		18,2 "
" 1 3/4 " "		18,0 "
" 2 1/4 " "		21,2 "
" 2 3/4 " "		18,0 "
" 3 " "		17,5 "
" 4 1/2 " "		25,8 "
" 5 1/2 " "		36,0 "
" 6 1/4 " "		36,2 "
" 7 " "		52,4 "
" 7 3/4 " "		36,6 "
" 8 " "		22,4 "
" 9 " "		50,0 "

Allgemein sehr langsame Strömung.
In benachbarten Zellen war die Vor-
langsamung schätzungsweise etwa
erst nach 5 - 7 Minuten zu beobach-
ten.

Intens. I Temp. 30° C.

Beginn der Ström. nach ca. 1 Min. 10 Sek.
Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg
von 1/10 mm

nach 2 1/2 Min. in	8,5 Sek.
" 4 " "	15,0 "
" 4 1/2 " "	9,6 "
" 5 " "	6,0 "
" 7 " "	12,2 "
" 7 1/4 " "	6,6 "
" 10 " "	7,2 "
" 11 " "	6,2 "
" 14 " "	6,6 "
" 19 1/4 " "	8,4 "
" 20 " "	7,0 "
" 21 " "	6,6 "
" 25 " "	6,0 "
" 25 1/2 " "	10,2 "
" 26 " "	6,5 "
" 29 1/4 " "	7,5 "
" 30 " "	6,6 "
" 30 1/4 " "	6,8 "
" 31 " "	6,0 "

Intens. I Temp. 30° C.

Beginn der Ström. nach ca. 1 Minute.
Ein Chlorophyllk. durchlief den Weg
von 1/10 mm

nach 1 1/2 Min. in	14,2 Sek.
" 2 " "	12,0 "
" 2 3/4 " "	7,2 "
" 3 1/4 " "	9,4 "
" 3 1/2 " "	8,4 "
" 4 1/2 " "	7,8 "
" 8 1/4 " "	7,2 "
" 9 " "	8,3 "
" 13 " "	10,8 "
" 13 1/2 " "	7,8 "
" 14 " "	8,4 "
" 17 " "	8,4 "
" 28 1/2 " "	14,4 "
" 29 " "	8,8 "
" 30 " "	8,4 "
" 39 " "	7,0 "
" 39 1/2 " "	8,4 "
" 40 " "	8,4 "

Elodea canadensis cont.

Intens.II Temp. 30° C.

Beginn der Strömung nach ca. 20 Sek.

Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg
von 1/10 mm

nach 1 Min. in	30,0 Sek.
" 1 1/4" "	24,2 "
" 2 " "	10,4 "
" 2 1/4" "	12,0 "
" 3 1/2" "	10,4 "
" 4 3/4" "	12,8 "
" 5 1/2 " "	16,5 "
" 7 1/2 " "	24,0 "
" 10 1/4 " "	36,8 "
" 12 1/2 " "	40,2 "
" 14 3/4 " "	40,0 "
" 15 1/2 " "	über 60,0 "

(Die anderen Zellen zeigten nach 15 Min.
keine Strömung mehr.)

Intens.II Temp. 30° C.

Beginn der Strömung nach ca. 25 Sek.

Ein Chlorophyllk. durchlief den Weg
von 1/10 mm

nach 1 Min. in	24,0 Sek.
" 1 1/2" "	12,8 "
" 2 1/4" "	10,4 "
" 3 " "	12,4 "
" 3 1/4" "	12,4 "
" 3 1/2" "	12,0 "
" 4 " "	12,8 "
" 4 1/2" "	18,4 "
" 4 3/4" "	18,0 "
" 5 " "	23,2 "
" 6 3/4" "	12,6 "
" 7 1/4" "	30,0 "
" 9 1/4" "	15,4 "
" 10 " "	18,8 "
" 11 " "	26,4 "
" 12 3/4" "	24,0 "
" 13 1/2" "	32,4 "
" 15 " "	über 60,0 "
" 16 1/2" "	40,8 "

(Störungen in der Beobachtungszelle.)

Intens.II Temp. 30° C.

Beginn der Strömung nach ca. 25 Sek.

Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg
von 1/10 mm

nach 1 1/4 Min. in	30,4 Sek.
" 2 " "	32,4 "
" 3 " "	12,0 "
" 3 1/2 " "	13,2 "
" 4 1/2 " "	12,18 "
" 4 3/4 " "	14,0 "
" 5 1/4 " "	24,2 "
" 6 " "	20,5 "
" 7 1/2 " "	24,6 "
" 8 1/4 " "	30,0 "
" 10 " "	40,2 "
" 12 " "	Stillstand.

(Andere Zellen zeigen noch schwache
Strömung.)

Intens.III Temp. 30° C.

Beginn der Strömung nach ca. 5 Sekund.

Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg
von 1/10 mm

nach 1/4 Min. in	10,8 Sek.
" 1/2 " "	14,4 "
" 1 1/4 " "	12,6 "
" 2 " "	10,8 "
" 2 3/4 " "	16,8 "
" 3 1/4 " "	18,0 "
" 4 " "	12,4 "
" 4 1/4 " "	24,0 "
" 4 3/4 " "	24,8 "
" 5 3/4 " "	38,4 "
" 6 " "	36,0 "
" 7 " "	Stillstand.

(Fast alle anderen Zellen zeigen des-
gleichen Stillstand.)

Elodea canadensis cont.

Intens. III Temp. 30° C.

Beginn der Strömung nach ca. 10 Sek.

Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg
von 1/10 mm

nach 1/2 Min. in	20,2 Sek.
" 1 " "	12,6 "
" 1 1/2 " "	14,4 "
" 2 1/4 " "	10,2 "
" 2 3/4 " "	13,6 "
" 3 1/2 " "	18,5 "
" 4 " "	12,8 "
" 4 1/4 " "	20,6 "
" 4 3/4 " "	22,8 "
" 5 1/2 " "	36,4 "
" 6 3/4 " "	45,2 "
" 7 " "	14,6 "
" 7 1/4 " "	49,0 "
" 7 3/4 " "	über 60,0 "
" 8 1/4 " "	Desorganisation.

(Etwa von der sechsten Minute ab war
sich in den Vergleichszellen eine we-
sentliche Verlangsamung zu bemerken.)

Intens. III Temp. 30° C.

Beginn der Strömung nach ca. 10 Sekund.

Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg
von 1/10 mm

nach 1/2 Min. in	18,4 Sek.
" 1 1/4 " "	12,2 "
" 2 1/4 " "	14,8 "
" 2 3/4 " "	10,0 "
" 3 1/4 " "	16,6 "
" 4 " "	22,8 "
" 4 3/4 " "	18,5 "
" 5 1/2 " "	34,6 "
" 5 3/4 " "	40,2 "
" 6 " "	Desorganisation in der Beobachtungszelle.

(Andere zellen zeigen sehr langsame
Strömung.)

Elodea densa.

Intens. I Temp. 15° C.

Beginn der Strömung nach ca. 2 1/4 Min.

Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg
von 1/10 mm

nach 3 1/4 Min. in	über 60,0 Sek.
" 5 " "	32,6 "
" 6 1/2 " "	54,2 "
" 7 1/2 " "	36,8 "
" 10 " "	28,4 "
" 14 " "	32,0 "
" 16 1/2 " "	29,8 "
" 19 1/4 " "	27,2 "

Intens. I Temp. 15° C.

Beginn der Strömung nach ca. 1 Min.

Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg
von 1/10 mm

nach 3 Min. in	42,0 Sek.
" 4 1/4 " "	44,0 "
" 5 1/2 " "	36,7 "
" 8 1/4 " "	36,0 "
" 9 1/2 " "	45,1 "
" 12 " "	31,4 "
" 14 " "	33,0 "
" 15 " "	30,2 "
" 16 " "	32,5 "
" 20 " "	36,9 "
" 22 " "	34,3 "
" 23 " "	31,2 "
" 25 " "	35,0 "
" 30 " "	31,2 "
" 44 " "	34,6 "

Elodea densa cont.

Intens. I Temp. 15° C.				Intens. II Temp. 15° C.			
Beginn der Strömung nach ca. 1/2 Minute.				Beginn der Strömung nach ca. 20 Sekund.			
Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg von 1/10 mm				Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg von 1/10 mm			
nach 4 1/2 Min. in			56,2 Sek.	nach 1 1/4 Min. in			35,2 Sek.
" 5 1/4 " "			37,4 "	" 4 1/2 " "			28,4 "
" 6 " "			49,2 "	" 10 " "			30,2 "
" 9 1/2 " "			32,6 "	" 12 1/2 " "			32,4 "
" 11 1/2 " "			30,4 "	" 15 3/4 " "			27,0 "
" 14 " "			33,0 "	" 19 1/4 " "			30,0 "
" 16 1/4 " "			36,2 "	" 20 " "			39,6 "
" 20 " "			31,4 "	" 26 1/4 " "		Störungen in der	
" 26 " "			33,8 "			Beobachtungsstelle.	
" 35 1/2 " "			41,2 "	(Die anderen Zellen zeigen gleichmässige Strömung.)			
" 40 " "			32,0 "				

Intens. II Temp. 15° C.				Intens. II Temp. 15° C.			
Beginn der Strömung nach ca. 1 Minute.				Beginn der Strömung nach ca. 35 Stund			
Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg von 1/10 mm				Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg von 1/10 mm			
nach 1 1/2 Min. in	über		60,0 Sek.	nach 1 Min. in			48,2 Sek.
" 2 1/4 " "			41,4 "	" 1 3/4 " "			36,0 "
" 3 " "			30,2 "	" 2 1/4 " "			36,0 "
" 3 3/4 " "			35,0 "	" 2 1/2 " "			30,4 "
" 5 " "			26,8 "	" 5 " "			30,3 "
" 7 1/2 " "			29,4 "	" 8 1/4 " "			29,2 "
" 15 1/2 " "			30,8 "	" 9 1/2 " "			42,4 "
" 19 3/4 " "			27,2 "	" 10 3/4 " "			24,8 "
" 24 1/2 " "			32,2 "	" 11 1/2 " "			32,6 "
" 31 " "			35,4 "	" 13 1/4 " "			30,0 "
" 39 1/2 " "			28,5 "	" 14 " "			30,2 "
" 40 " "			31,6 "	" 17 3/4 " "			34,8 "
				" 24 1/4 " "			33,6 "
				" 25 " "			36,0 "
				" 26 1/4 " "			30,8 "
				" 31 " "			48,0 "
				" 32 1/2 " "			31,2 "
				" 34 " "			33,4 "
				" 35 1/4 " "			38,4 "
				" 40 " "			39,6 "

(Etwa von der 30. Minute ab teilweise Chlorophyll-Zusammenballung, daher Unregelmässigkeiten in der Strömung. In Vergleichszellen normale Strömung.)

Elodea densa cont.

Intens. III Temp. 15°

Beginn der Strömung nach ca. 5 Sekund.

Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg von 1/10 mm

nach	1/2 Min.	in	36,0 Sek.
"	1	"	40,1 "
"	2	"	32,0 "
"	3 3/4	"	29,0 "
"	4 1/4	"	25,7 "
"	5	"	28,2 "
"	6 1/2	"	48,0 "
"	6 3/4	"	59,3 "
"	7 1/4	"	Stillstand

Intens. III Temp. 15° C.

Beginn der Strömung nach ca. 10 Sek.

Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg von 1/10 mm

nach	1/4 Min.	in	60,0 Sek.
"	1	"	35,2 "
"	1 1/4	"	40,1 "
"	2 3/4	"	36,3 "
"	4	"	30,0 "
"	4 1/4	"	30,4 "
"	4 1/2	"	30,1 "
"	5 1/4	"	26,0 "
"	5 3/4	"	23,4 "
"	6	"	30,1 "
"	6 1/2	"	32,6 "
"	6 3/4	"	35,1 "
"	7 1/2	"	50,8 "
"	8	"	36,2 "
"	8 1/2	"	49,8 "
"	15	"	über 60,0 "

Intens. III Temp. 15° C.

Beginn der Strömung nach ca. 15 Sek.

Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg von 1/10 mm

nach	2 Min.	in	30,4 Sek.
"	3 1/4	"	25,3 "
"	4	"	24,0 "
"	4 3/4	"	25,0 "
"	5 1/2	"	24,6 "
"	6 1/4	"	25,1 "
"	7 1/2	"	31,4 "
"	8 1/4	"	40,5 "
"	9	"	35,4 "
"	9 1/4	"	50,3 "
"	11 3/4	"	über 60,0 "
"	15	"	Chlorophyll-Zusammenballung, kaum Bewegung.

Intens. III Temp. 15° C.

Beginn der Strömung nach ca. 20 Sek.

Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg von 1/10 mm

nach	2 Min.	in	30,0 Sek.
"	3	"	24,3 "
"	3 1/2	"	24,1 "
"	4	"	24,0 "
"	5	"	25,0 "
"	6	"	24,9 "
"	6 1/2	"	28,3 "
"	8	"	30,4 "
"	9 1/2	"	26,1 "
"	10 1/4	"	36,4 "
"	12	"	42,1 "
"	13 1/4	"	über 60,0 "

(Desorganisation in der Beobachtungszelle.)

Elodea densa cont.

Intens. III Temp. 15° C.		Intens. I Temp. 30° C.	
Beginn der Strömung nach ca 28 Sek.		Beginn der Strömung nach ca 20 Sekund	
Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg von 1/10 mm		Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg 1/10 mm	
nach 2 1/2 Min. in	30,1 Sek	nach 3/4 Min. in	12,2 Sek.
" 2 3/4 " "	24,0 "	" 1 " "	14,4 "
" 5 " "	24,8 "	" 1 3/4 " "	15,2 "
" 10 " "	36,4 "	" 2 " "	12,8 "
" 11 " "	38,2 "	" 3 1/4 " "	13,2 "
" 14 1/2 " "	52,0 "	" 5 " "	12,0 "
" 16 1/2 " "	30,9 "	" 9 1/2 " "	14,0 "
" 17 1/4 " "	53,6 "	" 10 1/4 " "	12,8 "
		" 13 " "	14,4 "
		" 16 1/4 " "	12,6 "
		" 20 1/4 " "	16,8 "
		" 21 " "	13,2 "
		" 26 1/2 " "	12,0 "
		" 31 " "	15,6 "
		" 33 3/4 " "	12,6 "
		" 36 1/4 " "	15,8 "
		" 37 " "	14,4 "
		" 39 1/4 " "	12,0 "
		" 40 " "	14,0 "
(Grosse Unregelmässigkeiten in der Beobachtungszelle.)			
Intens. I Temp. 30° C.		Intens. II Temp. 30° C	
Beginn der Strömung nach ca 1 1/4 Min.		Beginn der Strömung nach ca 35 Sekund	
Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg von 1/10 mm		Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg von 1/10 mm	
nach 2 Min. in	18,4 Sek.	nach 1 1/4 Min. in	20,6 Sek.
" 2 3/4 " "	12,2 "	" 2 1/2 " "	14,4 "
" 3 " "	16,0 "	" 3 " "	12,0 "
" 5 1/2 " "	13,5 "	" 4 1/2 " "	13,8 "
" 8 1/2 " "	14,4 "	" 5 1/4 " "	12,2 "
" 12 " "	12,6 "	" 5 1/2 " "	14,2 "
" 14 3/4 " "	12,0 "	" 6 3/4 " "	13,4 "
" 20 1/4 " "	13,2 "	" 9 1/2 " "	19,0 "
" 25 1/2 " "	16,0 "	" 11 " "	22,6 "
" 26 1/4 " "	14,12 "	" 12 1/4 " "	38,5 "
" 31 " "	11,8 "	" 13 " "	20,2 "
" 36 " "	14,8 "	" 14 3/4 " "	35,6 "
" 39 1/4 " "	13,0 "		
" 40 " "	12,6 "		
		(Chlorophyll-Zusammenballung und sehr grosse Verlangsamung.)	

Flodea densa cont

Intens. II Temp. 30° C

Beginn der Strömung nach ca. 10 Sek

Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg
von 1/10 mm

nach 1	Min	in	15,6 Sek.
" 2 1/2	"	"	12,2 "
" 3 3/4	"	"	10,3 "
" 4 1/2	"	"	13,2 "
" 5	"	"	12,0 "
" 6 1/2	"	"	15,3 "
" 8 3/4	"	"	20,4 "
" 10 1/2	"	"	24,2 "
" 15	"	"	42,0 "
" 18 3/4	"	"	Stillstand in der Beob- achtungszelle, in den Vergleichszellen noch schwache Strömung.)

Intens. II Temp. 30° C

Beginn der Strömung nach ca. 15 Sekund.

Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg
von 1/10 mm

nach 3/4	Min.	in	12,0 Sek.
" 1	"	"	12,6 "
" 2 1/4	"	"	10,3 "
" 3 3/4	"	"	10,8 "
" 4	"	"	9,6 "
" 4 1/2	"	"	12,0 "
" 5 1/4	"	"	10,4 "
" 6 1/4	"	"	13,2 "
" 7 1/2	"	"	16,4 "
" 9	"	"	18,8 "
" 11	"	"	26,3 "
" 13 1/2	"	"	20,2 "
" 15 3/4	"	"	24,0 "
" 18 1/4	"	"	38,4 "

(Störungen in der Beobachtungszelle.)

Intens. III Temp. 30° C.

Beginn der Strömung nach ca. 25 Sek.

Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg
von 1/10 mm

nach 3/4	Min.	in	19,2 Sek.
" 1	"	"	12,4 "
" 1 1/4	"	"	16,6 "
" 2 1/2	"	"	14,4 "
" 3	"	"	18,6 "
" 3 3/4	"	"	21,4 "
" 4 1/2	"	"	19,0 "
" 5 1/4	"	"	23,2 "
" 6 1/2	"	"	45,4 "
" 7 1/4	"	über	60,0 "
" 7 1/2	"	Stillstand	

(Vereinzelte Zellen zeigen noch Stö-
mung.)

Intens. III Temp. 30° C

Beginn der Strömung nach ca. 15 Sek

Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg
von 1/10 mm

nach 1/2	Min.	in	19,0 Sek.
" 1	"	"	12,8 "
" 2 1/4	"	"	16,0 "
" 3 1/2	"	"	18,2 "
" 3 3/4	"	"	19,4 "
" 4 3/4	"	"	18,0 "
" 5 1/4	"	"	21,6 "
" 5 3/4	"	"	25,2 "
" 6 1/2	"	"	32,4 "
" 6 3/4	"	"	36,8 "
" 8 1/4	"	"	46,0 "
" 9	"	über	60,0 "

(Störungen in der Beobachtungszelle.)

Elodea densa cont.

Intens. II

Temp. 30° C.

Beginn der Strömung nach ca. 10 Sek.; ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg von 1/10 mm.

nach	1/2 Min. in	16,2 Sek.	nach	4 1/2 Min. in	16,2 Sek.
"	1 1/4 " "	14,4 "	"	5 " "	23,4 "
"	2 " "	15,8 "	"	5 3/4 " "	26,0 "
"	2 3/4 " "	16,8 "	"	6 1/2 " "	38,4 "
"	3 1/4 " "	22,3 "	"	7 3/4 " Stillstand	

(Störungen auch in den Vergleichszellen. Andere Zellen strömen noch langsam.)

Vallisneria spiralis.

Intens. I

Temp. 15° C.

Beginn der Strömung sofort.

Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg von 1/10 mm

nach	3/4 Min. in	17,2 Sek.
"	3 1/2 " "	14,3 "
"	5 " "	18,1 "
"	7 1/2 " "	12,3 "
"	10 " "	9,9 "
"	13 1/4 " "	10,4 "
"	15 1/2 " "	9,1 "
"	20 " "	11,2 "
"	30 " "	12,5 "
"	40 " "	10,6 "

Intens. I

Temp. 15° C.

Beginn der Strömung sofort.

Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg von 1/10 mm

nach	1/2 Min. in	13,2 Sek.
"	2 " "	10,1 "
"	3 1/2 " "	7,6 "
"	7 " "	9,9 "
"	12 " "	11,4 "
"	14 3/4 " "	9,0 "
"	17 1/2 " "	10,3 "
"	25 " "	12,6 "
"	30 " "	11,0 "
"	40 " "	13,0 "
"	42 " "	10,1 "

Intens. I

Temp. 15° C.

Beginn der Strömung sofort.

Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg von 1/10 mm

nach	1/4 Min. in	18,0 Sek.
"	1 " "	18,4 "
"	2 " "	17,1 "
"	3 1/4 " "	14,6 "
"	5 1/2 " "	15,1 "
"	6 " "	12,9 "
"	8 1/4 " "	12,0 "
"	9 " "	9,0 "
"	10 " "	11,4 "
"	12 " "	10,1 "
"	14 1/2 " "	11,3 "
"	16 1/4 " "	12,0 "
"	17 " "	10,2 "
"	20 " "	11,7 "
"	25 " "	12,8 "
"	35 " "	12,0 "
"	40 1/4 " "	11,0 "
"	42 " "	14,1 "
"	44 1/2 " "	12,3 "

Intens. I

Temp. 15° C.

Beginn der Strömung sofort.

Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg von 1/10 mm

nach	1/2 Min. in	23,2 Sek.
"	2 1/4 " "	18,4 "
"	3 1/2 " "	20,7 "
"	6 " "	15,3 "
"	9 " "	14,2 "
"	12 " "	12,8 "
"	14 " "	13,4 "
"	15 1/2 " "	12,3 "
"	18 " "	10,9 "
"	20 1/2 " "	12,7 "
"	25 " "	13,8 "
"	35 " "	11,5 "
"	40 " "	12,6 "

(V.d. 20. Min. ab teilw. geringere Chlorophyllzusammenball, aber gute Strömung).

Vallisneria spiralis cent

Intens. I. Temp. 15° C.

Beginn der Strömung sofort.

Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg
von 1/10 mm

nach	1	Min.	in	16,8	Sek.
"	3 1/2	"	"	12,5	"
"	5	"	"	14,3	"
"	7 1/4	"	"	10,1	"
"	8	"	"	8,8	"
"	12 1/2	"	"	11,3	"
"	15	"	"	9,2	"
"	17	"	"	10,5	"
"	20 1/2	"	"	11,1	"
"	25	"	"	9,0	"
"	33	"	"	10,3	"
"	40	"	"	13,6	"

Intens. II Temp. 15° C.

Beginn der Strömung sofort.

Ein Chlorophyllk. durchlief den Weg
von 1/10 mm

nach	1/2	Min.	in	11,2	Sek.
"	2 3/4	"	"	8,4	"
"	5	"	"	8,0	"
"	10 1/2	"	"	7,0	"
"	15 1/4	"	"	8,3	"
"	21 3/4	"	"	8,2	"
"	30	"	"	8,0	"
"	39	"	"	11,0	"
"	39 1/2	"	"	8,0	"
"	40	"	"	8,8	"

Intens. II Temp. 15° C.

Beginn der Strömung sofort.

Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg
von 1/10 mm

nach	1/2	Min.	in	24,0	Sek.
"	1 1/4	"	"	18,2	"
"	2	"	"	12,4	"
"	2 1/2	"	"	18,0	"
"	4	"	"	12,8	"
"	4 1/2	"	"	14,0	"
"	8	"	"	12,0	"
"	12	"	"	13,2	"
"	12 1/2	"	"	11,2	"
"	17 1/4	"	"	12,2	"
"	22	"	"	12,0	"
"	29	"	"	11,2	"
"	30	"	"	12,8	"
"	35	"	"	12,0	"
"	40	"	"	12,0	"

Intens. II Temp. 15° C.

Beginn der Strömung sofort.

Ein Chlorophyllk. durchlief den Weg
von 1/10 mm

nach	1	Min.	in	10,2	Sek.
"	2 1/2	"	"	8,4	"
"	5	"	"	9,2	"
"	8 1/2	"	"	11,0	"
"	9	"	"	8,8	"
"	15 1/4	"	"	10,0	"
"	21	"	"	7,2	"
"	21 3/4	"	"	9,4	"
"	35 1/2	"	"	9,0	"
"	40	"	"	11,2	"

Vallisneria spiralis cont.

Intens. III

Temp. 15° C.

Beginn der Strömung sofort.

Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg
von 1/10 mm

nach	3/4 Min.	in	8,0 Sek.
"	1 1/2	"	7,2 "
"	2 3/4	"	9,1 "
"	3 1/2	"	7,0 "
"	5 1/4	"	8,8 "
"	6	"	10,4 "
"	6 1/2	"	18,8 "
"	7 1/4	"	7,8 "
"	7 3/4	"	33,6 "

Intens. III

Temp. 15° C.

Beginn der Strömung sofort.

Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg
von 1/10 mm

nach	3/4 Min.	in	12,0 Sek.
"	1	"	8,4 "
"	1 1/4	"	10,2 "
"	2	"	6,9 "
"	2 1/2	"	8,8 "
"	3 1/4	"	9,6 "
"	4	"	6,6 "
"	5 1/2	"	14,2 "
"	6	"	10,4 "
"	6 1/4	"	12,0 "
"	7	"	18,0 "
"	8 1/4	"	29,4 "
"	8 1/2	"	14,2 "
"	9	"	26,4 "
"	10 1/4	"	22,6 "
"	11	"	36,0 "
"	11 3/4	"	30,0 "
"	12 1/4	"	48,2 "
"	15	"	über 60,0 "

Intens. III

Temp. 15° C.

Beginn der Strömung sofort.

Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg
von 1/10 mm

nach	1/2 Min.	in	10,4 Sek.
"	2 1/4	"	7,0 "
"	4	"	8,8 "
"	4 1/2	"	8,0 "
"	5 3/4	"	7,4 "
"	7 1/2	"	9,8 "
"	9	"	21,5 "
"	10 1/4	"	48,4 "
"	11 1/2	"	19,8 "
"	12 3/4	"	52,4 "
"	14 3/4	"	über 60,0 "
"	16 1/2	"	über 60,0 "
"	18	"	Stillstand

Intens. I

Temp. 30° C.

Beginn der Strömung sofort.

Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg
von 1/10 mm

nach	1/2 Min.	in	6,0 Sek.
"	1	"	5,4 "
"	2 1/2	"	6,0 "
"	4	"	7,2 "
"	4 1/2	"	7,2 "
"	8 1/4	"	6,0 "
"	13 1/2	"	4,8 "
"	14 1/4	"	5,8 "
"	18	"	6,4 "
"	25	"	5,2 "
"	29	"	5,2 "
"	30 1/4	"	6,4 "
"	36 1/4	"	5,6 "
"	36 3/4	"	6,0 "
"	40	"	6,0 "
"	40 3/4	"	5,2 "

Vallisneria spiralis cont.

Intens. I Temp. 30° C.

Beginn der Strömung sofort.

Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg
von 1/10 mm

nach	1/4 Min. in	8,4 Sek.
" 1 1/2 "	" "	6,2 "
" 3 3/4 "	" "	5,0 "
" 4 1/2 "	" "	7,0 "
" 8 "	" "	6,6 "
" 10 1/2 "	" "	6,6 "
" 15 3/4 "	" "	9,4 "
" 12 1/2 "	" "	6,8 "
" 25 "	" "	5,2 "
" 32 1/4 "	" "	7,2 "
" 38 "	" "	5,8 "
" 40 1/4 "	" "	6,5 "

Intens. II

Temp. 30° C.

Beginn der Strömung sofort.

Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg
von 1/10 mm

nach	1/2 Min. in	6,0 Sek.
" 3 1/2 "	" "	6,0 "
" 4 3/4 "	" "	5,4 "
" 6 1/2 "	" "	7,2 "
" 7 3/4 "	" "	6,4 "
" 8 1/4 "	" "	6,0 "
" 10 1/4 "	" "	12,2 "
" 11 "	" "	16,6 "
" 12 3/4 "	" "	16,6 "
" 13 "	" "	20,0 "
" 14 1/2 "	" "	15,8 "

(Chlorophyll-Zusammenballung in der Beobachtungszelle, daher nur noch schwache Strömung. Andere Zellen strömen auch langsamer.)

Intens. II Temp. 30° C.

Beginn der Strömung sofort.

Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg
von 1/10 mm

nach	3/4 Min. in	5,2 Sek.
" 1 3/4 "	" "	5,0 "
" 2 1/2 "	" "	6,4 "
" 4 "	" "	6,0 "
" 5 1/2 "	" "	5,2 "
" 8 3/4 "	" "	6,6 "
" 10 "	" "	8,0 "
" 10 3/4 "	" "	5,0 "
" 11 1/2 "	" "	12,4 "
" 14 "	" "	32,6 "
" 15 3/4 "	" "	40,0 "

(Nach 16 1/2 Minuten war keine Ablesung mehr möglich, da in der Zelle Desorganisationserscheinungen eingetreten waren.)

Intens. II

Temp. 30° C.

Beginn der Strömung sofort.

Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg
von 1/10 mm

nach	1/4 Min. in	12,4 Sek.
" 3/4 "	" "	8,0 "
" 1 1/2 "	" "	5,0 "
" 2 3/4 "	" "	6,2 "
" 4 "	" "	5,2 "
" 6 1/2 "	" "	6,0 "
" 8 1/2 "	" "	6,0 "
" 9 3/4 "	" "	10,4 "
" 10 3/4 "	" "	18,5 "
" 11 1/2 "	" "	9,8 "
" 13 3/4 "	" "	16,8 "
" 16 1/4 "	" "	20,2 "

(Grosse Unregelmässigkeiten in der Beobachtungszelle. In den Vergleichszellen langsame Strömung.)

Vallisneria spiralis cont.

Intens.III

Temp. 30° C.

Beginn der Strömung sofort.

Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg
von 1/10 mm

nach	1/2 Min. in	5,4 Sek.
" 1 1/2 "	" "	7,5 "
" 2 3/4 "	" "	6,0 "
" 3 1/2 "	" "	5,0 "
" 5 "	" "	5,8 "
" 5 1/2 "	" "	8,2 "
" 6 "	" "	16,0 "
" 6 3/4 "	" "	34,2 "
" 7 1/2 "	" "	10,4 "
" 8 1/4 "	" "	40,6 "
" 9 "	Stillstand.	

(Vergleichszellen zeigten noch schwache Strömung.)

Intens.III

Temp. 30° C.

Beginn der Strömung sofort.

Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg
von 1/10 mm

nach	3/4 Min. in	6,6 Sek.
" 1 1/2 "	" "	5,0 "
" 2 1/2 "	" "	5,8 "
" 3 3/4 "	" "	7,0 "
" 4 1/2 "	" "	5,4 "
" 5 1/4 "	" "	6,5 "
" 6 1/2 "	" "	10,8 "
" 7 1/4 "	" "	22,4 "
" 7 3/4 "	" "	8,6 "
" 8 1/4 "	" "	35,4 "

(Desorganisation in der Beobachtungszelle. Vergleichszellen zeigten sehr langsame Strömung.)

Intens.III

Temp. 30° C.

Beginn der Strömung sofort.

Ein Chlorophyllkorn durchlief den Weg
von 1/10 mm

nach	1/4 Min. in	5,0 Sek.
" 1 "	" "	4,8 "
" 1 1/2 "	" "	5,6 "
" 2 3/4 "	" "	6,0 "
" 4 1/2 "	" "	6,6 "
" 5 1/4 "	" "	5,2 "
" 6 "	" "	9,0 "
" 8 "	" "	10,8 "
" 8 1/2 "	" "	14,4 "
" 8 3/4 "	" "	14,0 "
" 9 1/2 "	" "	36,4 "
" 10 "	" "	27,2 "
" 10 1/4 "	" "	42,6 "
" 11 "	über	60,0 "
" 11 1/2 "	Stillstand.	

LITERATUR.

- (1) BENECKE-JOST, Pflanzenphysiologie 1924, Bd. I, p. 40. - (2) BIERBERG, Die Beobachtung der Protoplasmarotation für den Stofftransport in Pflanzen, Flora I C, Heft I, 1909. - (3) BONAVENTURI CORTI, Osservazioni sulla tremella e sulla Circulatione del fluido in una pianta acqua-jolla, Lucca 1774. - (4) DUTROCHET, Sur la circulation dans la Chara, Annales de science naturelle. 1838. - (5) FRANK und KRÜGER, Über den Reiz, welchen die Behandlung mit Kupfer auf die Kartoffelpflanze hervorbringt. Berichte der Deutsch. Bot. Ges. 1894. - (6) GLEISBERG, Reifebeginn, Ertrag und Samenstimulation bei Tomaten, Zell-Stimulationsforschungen 1924, Bd. I. (7) HAUPTFLEISCH, Untersuchungen über die Strömung des Protoplasmas in behüteten Zellen, Jahrb. f. wiss. Botanik 1892, Bd. 24. - (8) HÖBER, Biochemische Zeitschr. 20, p. 56. - (9) HOFMEISTER, Bewegungen des Protoplasmas, Pflanzenzelle 1857, p. 47, 53. - (10) JOSING, Der Einfluss der Aussenbedingungen auf die Abhängigkeit der Protoplasmaströmung vom Licht, Jahrbuch für wissenschaftliche Botanik 1901, Band 36. - (11) KELLER, Über Protoplasma-Strömung im Pflanzenreich, Botanisches Jahrbuch 1890. - (12) KIENITZ-GERLOFF, Protoplasma-Strömung und Stoffwanderung in der Pflanze, Botanische Zeitung 1893. - (13) KLEBS, Über das Verhalten von Farnprothallien gegenüber Anilinfarbstoffen, Sitzungsberichte der Heidelberger Akademie der Wissenschaften, Abteilung B, 1919, Abhandlung 18. - (14) KLEMM, Desorganisations-Erscheinungen in der Zelle, Jahrbuch für wissenschaftliche Botanik 1895, Band 28. - (15) KRETSCHMAR, Über Entstehung und Ausbreitung der Plasmaströmung infolge von Wundreiz, Jahresberichte für wissenschaftliche Botanik 1904, Band 39. (16) KÜHNE, Untersuchungen über das Protoplasma und die Contraktilität. Leipzig 1864, p. 106. - (17) KÜSTER, Über die Aufnahme von Anilinfarben in lebende Pflanzenzellen, Jahrbuch für wissenschaftliche Botanik 1912, Band 50. - (18) LAKON, Beiträge zur Kenntnis der Protoplasma-Strömung, Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft XXXII, 1914. - (19) LOPRIORE, Über die Einwirkung der Kohlensäure auf das Protoplasma der lebenden Pflanzenzelle, Jahrbuch für wissenschaftliche Botanik 1895, Band 28. - (20) MOLISCH, Kultur der Mikroorganismen, Küster, p. 107. - (21) NOTHMANN-ZUCKERKANDL, Über die Erregung der Protoplasma-Strömung durch verschiedene Strahlenarten, Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft 1915, Band XXXIII. - (22) OVERTON, Studien über die Aufnahme von Anilinfarben durch die lebende Zelle, Jahrbuch für wissenschaftliche Botanik 1900, Band 34. - (23) PFEFFER, Über Elekktion organischer Nährstoffe, Jahrbuch für wissenschaftliche Botanik 1895, Band 28. - (24) PFEFFER, Physiologie II, 1904. - (25) PFEFFER, Untersuchungen aus d. botanischen Institut Tübingen 1886, Band II. - (26) POPOFF, Biologische Möglichkeiten zur Hebung des Ernteertrages, Biologisches Zentralblatt 1923, Band 43. - (27) PRINGSHEIM, Über Lichtwirkung und Chlorophyllfunktion in der Pflanze, Jahrbuch für wissensch. Botanik 1879 - 81, Band 12. - (28) RAULIN, Annales des scienc. naturelles, 1869, Bd. 11. - (29) RICHARDS, Die Beeinflussung des Wachstums einiger Pilze durch chemische Reize, Jahrbuch für wissenschaftliche Botanik 1897, Band 30. - (30) RUHLAND, Beiträge zur Kenntnis der Permeabilität der Plasmahaut, Jahrbuch für wissenschaftliche Botanik 1909, Band 46. - (31) SACHS, Über die obere Temperaturgrenze der Vegetation, Flora 1864. - (32) SCHADE, Über das Verhalten von Pflanzen gegenüber Anilinfarbstoffen, Jahrbuch für wissenschaftliche Botanik 1923. - (33) SCHRÖTER, Über Protoplasma-Strömung bei Mucorineen, Flora XCV, Ergänzungsband zu 1905. - (34) SPIECKERMANN, Zeitschrift der Landwirtschaftskammer, Braunschweig 1924, Nr. 43, p. 242. - (35) VELTEN, Die Einwirkung der Temperatur auf die Protoplasma-Bewegung, Flora 1876. - (36) DE VRIES, Über die Bedeutung der Cirkulation und der Rotation des Protoplasmas für den Stofftransport in der Pflanze, Botanische Zeitung 1885. - (37) WIELER, Aufnahme von Methylblau und Fuchsin durch die Wurzeln lebender Pflanzen, Jahrbuch für wissenschaftliche Botanik 1888, Band 19. - (38) VAN WISSELINGH, Über den Nachweis des Gerbstoffes in der Pflanze und über seine physiologische Bedeutung. Botanisches Zentralblatt 1915, Beihefte, Band 32, Abteilung I.

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: 1925

Band/Volume: [12](#)

Autor(en)/Author(s): Beikirch Herbert

Artikel/Article: [Die Abhängigkeit der Protoplasma -Strömung von Licht und Temperatur und ihre Bedingtheit durch andere Faktoren 389-445](#)