

31. Helene Nothmann-Zuckerkan dl: Über die Erregung der Protoplasmaströmung durch verschiedene Strahlenarten.

(Mit zwei Abbildungen im Text.)

(Eingegangen am 11. Juni 1915.)

I.

Die folgenden Untersuchungen nahmen ihren Ausgang von der Beobachtung, daß in einem *Elodea*ablatt, in dem nach 24stündiger Verdunklung die Strömung zum Stillstand gekommen war, als es hinter einer Fensterscheibe dem Sonnenlicht ausgesetzt wurde, schon nach wenigen Minuten lebhafte Strömung auftrat. Dieser Versuch wurde mehrmals mit gleichem Erfolge wiederholt und ebenso gelang es auch in unverletzten Sprossen von *Elodea* durch Sonnenlicht nach wenigen Minuten in allen Blättern mehr oder weniger lebhafte Strömung hervorzurufen. Wurden die Sprosse in diffusem Tageslicht stehen gelassen, so dauerte es mindestens 4—5^h, ehe die Strömung erloschen war. In manchen Fällen war sie auch am nächsten Tage noch zu sehen, trotz der vorübergehenden Verdunklung während der Nacht.

Mit Gaslicht und elektrischem Bogenlicht konnte ich die gleichen Erfolge wie mit Sonnenlicht erzielen. Besonders intensiv war die Wirkung, wenn die Blätter auf dem Objektisch des Mikroskops dem durch den Spiegel konzentrierten Gasglühlicht ausgesetzt wurden. Es war dann fast momentan der Eintritt der Strömung zu beobachten. Doch war auch nach 5—10' lebhafte Strömung zu sehen,* bei Sprossen, welche in einem Schälchen mit Wasser in einer Entfernung von wenigen Zentimetern dem Lichte (Gasglühlicht oder Bogenlampe) ausgesetzt wurden.

Für die Versuche mit elektrischem Licht benutzte ich die Bogenlampe eines ZEISSschen Projektionsapparates, die mit 20 Ampère brannte. Die Sprosse wurde auf einem Uhrgläschen in Wasser in einer Entfernung von 10—15 cm aufgestellt und 2—5' belichtet. Während dieser Zeit erwärmte sich das Wasser nur unbedeutend. Es trat lebhafte Strömung in den meisten Blättern auf, welche meist einen halben Tag, manchmal auch 24^h andauerte; war die Strömung am folgenden Tag zum Stillstand

gekommen, so gelang es durch Belichtung von wenigen Minuten, sie wieder hervorzurufen. Pflanzen, die mehrere Tage so behandelt wurden, nahmen bald ein krankhaftes Aussehen an, die Blätter hatten viele braune Flecken, auch das Chlorophyll hatte sich verfärbt gegenüber Kontrollobjekten, die nur dem diffusen Tageslicht ausgesetzt worden waren.

Diese ersten Versuche wurden im Sommer 1913 im botanischen Institut der Universität Jena ausgeführt. Die weiteren, die der Ermittlung der Wirkung der einzelnen Strahlenarten dienten, in einem Versuchskeller der Firma ZEISS in Jena, der ich für ihr weitgehendes Entgegenkommen zu größtem Danke verpflichtet bin. Besonderen Dank schulde ich dem wissenschaftlichen Mitarbeiter der Firma ZEISS, Herrn Dr. A. KÖHLER, welcher mir alle gewünschten Versuchsanordnungen zusammenstellte und mir in allerer sehr behilflich war. Ich arbeitete hauptsächlich mit *Elodea*, die ich mir aus einem Teiche in der Nähe von Jena holte. Die Pflanzen stellte ich in großen Glasgefäßen an einem lichten Fenster auf. Zu den Versuchen schnitt ich mir stets eine Anzahl kleiner Sproßstücke ab und ließ sie etwa einen halben Tag im Keller in einem Glasgefäß stehen, das von einem schwarzen Pappzylinder umgeben war, um sie vor der Belichtung vor dem Einfluß jeglichen Lichtes zu bewahren. Ein Sproßstück wurde, nachdem festgestellt war, daß in allen Blättern Ruhe herrschte, auf einen Objektträger gelegt, das zu belichtende Blatt mit einem Deckglas bedeckt und in das Gesichtsfeld eingestellt. Es mußte natürlich häufig frisches Wasser zugefügt werden, um Austrocknen zu vermeiden. Die Temperatur im Kellerraum war annähernd konstant und betrug 19 °.

Zunächst arbeitete ich mit einer Quarzlampe der Quarzlampegesellschaft Hanau, die mit 30 Ampère brannte. Zur Ermittlung der Wirksamkeit der ultravioletten Strahlen benutzte ich die Anordnung, wie sie für das Luminiszenzmikroskop verwendet wird¹⁾. Mit derselben Lampe führte ich auch Versuche mit blauen, grünen und gelben Strahlen aus. Die Zusammensetzung der hierbei verwendeten flüssigen Farbfilter ist in Tabelle 1 angegeben.

Tabelle 1.

Filter für die Quarzlampe.

Für Ultraviolett I + II.

1) H. LEHMANN, Apparate f. d. Luminiszenzanalyse. Ztschr. f. Instr.-Kunde. 1912, Heft 12; u. H. LEHMANN, Das Luminiszenz-Mikroskop, seine Grundlagen u. seine Anwendungen. Zeitschr. f. wiss. Mikrosk. 30, 1913, S. 417.

I. M.-V.-Filter-Doppelkuvette mit

Lösung A	10 cm ³	} Schichtdicke 5 mm.
Glyzerin	90 cm ³	
+ Glyzerin	100 cm ³	} Schichtdicke 5 mm.
CuSO ₄	10 g	

Lösung A: Nitrosodimethylanilin 0,1 g, Alkohol 100 cm₃.

II. Zusatzfilter: Blauviolelglas, Dicke 2,5 mm.

III. Für grünes Licht, Wellenlänge 546 $\mu\mu$:

Didymnitrat	60 g	} Schichtdicke 3 cm.
H ₂ O	300 cm ³	
+ CuSO ₄	30 g	} Schichtdicke 3 cm.
Pikrinsäure	1,8 g	
H ₂ O	300 cm ³	

IV. Für Gelb und Rot:

K ₂ CrO ₄	30 g	} Schichtdicke 3 cm.
H ₂ O	300 cm ³	

Für blaues Licht V + VI (Wellenlänge 436 $\mu\mu$):

V. H ₂ O	300 cm ³	} Schichtdicke 3 cm.
Chininsulfat	6 g	
H ₂ SO ₄	2 cm ³	

VI. H ₂ O	200 cm ³	} Schichtdicke 3 cm.
NH ₃	100 cm ³	
CuSO ₄	15 g	

Im ultravioletten Licht dauerte es eine Viertelstunde, bis Strömung eintrat, in den übrigen Lichtarten war sie schon nach 5' vorhanden. Auch das volle Licht der Quarzlampe ließ ich auf *Elodeazellen* einwirken und ebenso Gasglühlicht. Dabei zeigte sich, daß letzteres deutlich wirksamer war, was darauf beruhen konnte, daß das Gaslicht besonders reich an ultraroten Strahlen ist. Diese Vermutung sollte sich als richtig erweisen.

Zu den Versuchen mit Gasglühlicht verwendete ich eine Grätzinlampe, deren Licht ich auf den Planspiegel des Mikroskops fallen ließ.

Als Lichtfilter dienten teils Kuvetten mit verschiedenfarbigen Lösungen, teils farbige Gläser von SCHOTT in Jena, die in den Blendenträger des ABBÉschen Beleuchtungsapparates eingesetzt wurden. Um die Strahlung der Lampe vom Objektisch abzuhalten, wurde außerdem ein Blechschirm aufgestellt. In Tabelle 2 sind alle verwendeten Filter angeführt mit Angabe des durchgelassenen Lichtes, das mit einem Handspektroskop gemessen wurde.

Tabelle 2.

Filter für die Gaslampe.

I.	Küvette mit Leitungswasser .	Schichtdicke	5,5 cm
II.	„ „ 0,5 % CuSO ₄ .	„	5,5 „
III.	„ „ CuSO ₄ konzentr.	„	5,0 „

Zusammensetzung der Lösung:

H ₂ O	500 cm ³
CuSO ₄	100 g
H ₂ SO ₄	2 cm ³

Durchgelassen Licht von 400—590 $\mu\mu$.

- IV. Küvette mit Malachitgrünlösung (GRÜBLER, Leipzig) Schichtdicke 5,5 cm. Die Lösung hatte annähernd dieselbe Helligkeit wie die konzentrierte CuSO₄-Lösung. Durchgelassen 640—700 $\mu\mu$ und 420—580 $\mu\mu$.
- V. Alkoholische Chlorophylllösung (aus *Syringa*-Blättern). Die Lösung wurde soweit verdünnt, daß nur noch der Absorptionsstreifen im Rot deutlich sichtbar war; er lag bei 635—670 $\mu\mu$.
- VI. Konzentrierte Lösung von J₂ in CS₂, Schichtdicke 5,5 cm. Gläser von SCHOTT in Jena.
- VII. Kobaltglas, Dicke 2,2 mm, durchlässig für Ultrarot, für 690—720 $\mu\mu$, 650—670 $\mu\mu$ und 520—416 $\mu\mu$. Zwischen 520 und 650 ein dunkler Absorptionsstreifen.
- VIII. Blauviolettglas: Dicke 2,1 mm. Durchlässig für 710—730, für 404—550 $\mu\mu$, nicht für Ultrarot.
- IX. Rotes Überfangglas: Durchlässig für 720—750 $\mu\mu$.
- X. Rotes Selenglas: Dicke 3,1 mm. Durchlässig für 610 bis 710 $\mu\mu$.

Als Ultrarotfilter diente eine Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff, welche, wenn sie hinreichend konzentriert ist, kein sichtbares Licht durchläßt, in verdünnterem Zustande nur langwelliges Rot und Ultrarot. Um die Gegenwart des letzteren festzustellen, wurde auf den Objektisch ein Glimmerblättchen gelegt, das unterseits berußt und oberseits mit einer dünnen Schicht von Silberquecksilberjodid bestrichen war; das gelbe Doppelsalz wird durch die Erwärmung bei 49° rot.

Zunächst stellte ich fest, daß durch Vorschalten einer Küvette mit Wasser, wodurch die Wärmestrahlen ferngehalten werden, die Wirksamkeit der Lampe erheblich herabgesetzt wird, denn während sonst nach 2—3' in den *Elodeazellen* schon lebhaftere Strömung herrschte, war in diesem Falle erst nach 10—20' eine schwache Bewegung zu beobachten. Die Anwendung der roten und blauen

Gläser bewirkte nur eine geringe Abschwächung des Gaslichtes, dagegen trat bei Vorschalten von Wasser und dem roten Selenglas überhaupt keine Strömung auf; wurde dann das Wasser entfernt, so war sie schon nach kurzer Zeit vorhanden. Es hatte also den Anschein als ob der hier verwendete Strahlenbezirk, Rot von $610-710 \mu\mu$ nicht imstande ist, Strömung hervorzurufen; spätere Versuche sollten jedoch zeigen, daß diese Annahme nicht richtig war und daß jedenfalls nur die geringe Intensität die Ursache der Unwirksamkeit war. Vorschalten einer CuSO_4 -Lösung, auch einer konzentrierten, schwächte die Wirksamkeit der Lampe nicht mehr als Vorschalten reinen Wassers. Stärker war die Abschwächung

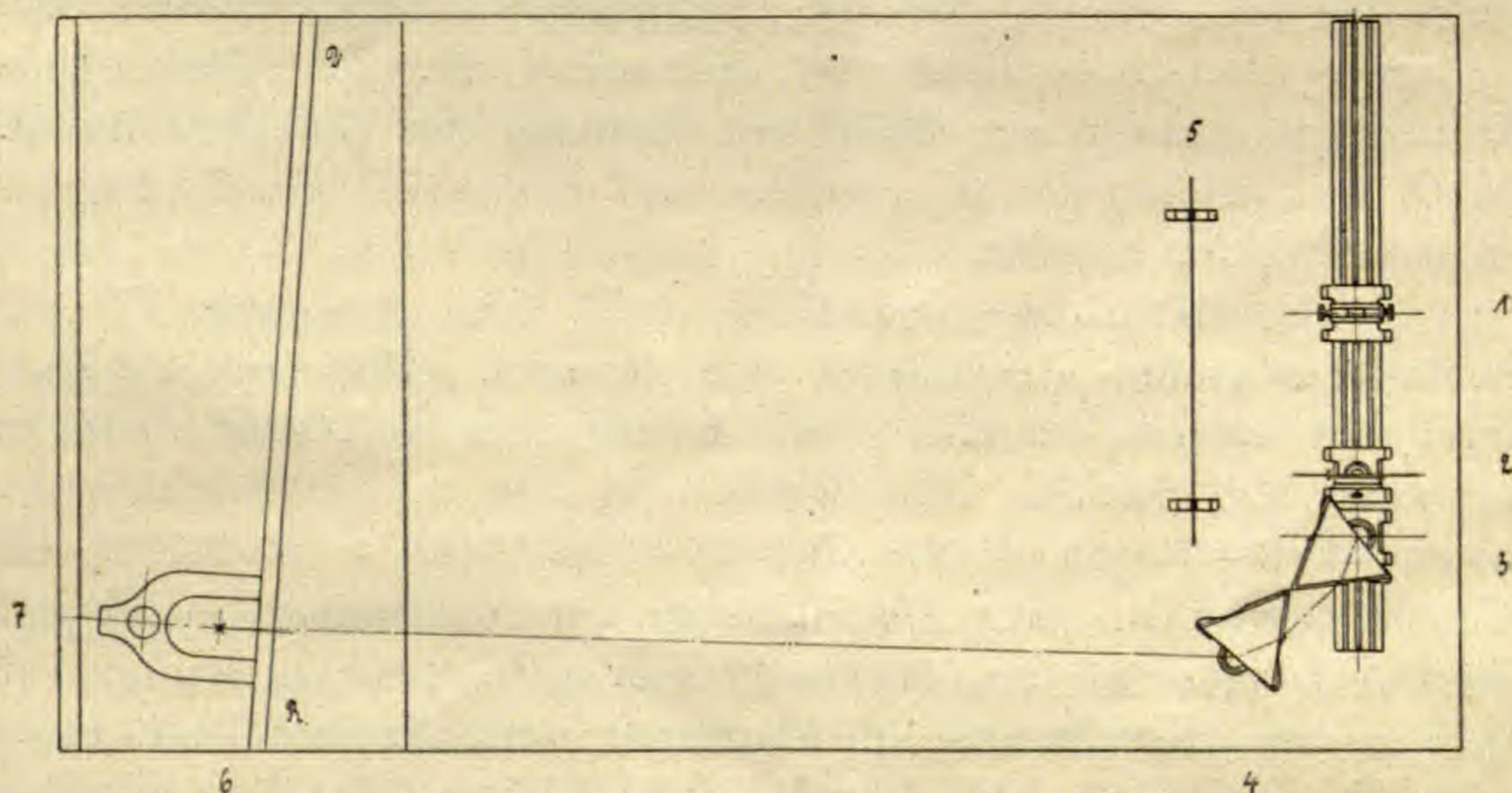


Abb. 1. Versuchsanordnung mit spektralzerlegtem Licht. 1 Nernstfaden, 2 Sammellinse, 3 u. 4 Schwefelkohlenstoffprismen, 5 Schirm, 6 Holzleiste, 7 Mikroskop.

durch alkoholische Chlorophylllösung. Bei Anwendung des Jod-Schwefelkohlenstofffilters, also reinem Ultrarot, erfolgte schon nach 5' Strömung, es war also nur ein geringer Unterschied gegenüber dem vollen Gaslicht. Die Beobachtung erfolgte hier in rotem Licht (Selenglas und Wasserküvette), das sich ja als unwirksam gezeigt hatte.

Alle diese Beobachtungen hatte ich an *Elodea*sprossen gemacht. An den Zellen der Staubfadenhaare von *Tradescantia virginica* konnte ich durch Gaslicht erst eine starke Beschleunigung der Strömung sehen, doch nach kurzer Zeit schon eine Verlangsamung und dann trat Stillstand ein, welcher auf einer Schädigung durch die zu große Lichtintensität beruhte; die Plasmafäden er-

starrten und die Zellen waren abgestorben. Bei Fernhalten der Wärmestrahlen durch Vorschalten der Wasserküvette trat diese Schädigung erst viel später auf.

Die Prüfung der einzelnen Spektralbezirke nahm ich ferner noch mit spektralzerlegtem Licht vor. Die Versuchsanordnung ist aus Abbildung 1 ersichtlich. Die spaltförmige Lichtquelle bildete ein vertikal aufgehängter Nernstfaden. Das Gestell auf Reiter dafür ist mit 1 bezeichnet. 2 ist ein achromatischer Kollektor von 18 cm Brennweite und 5 cm Durchmesser. 3 und 4 sind Schwefelkohlenstoffprismen, deren freie Öffnung zirka 10:10 cm beträgt. Sie werden für das äußerste Rot auf das Minimum der Ablenkung gestellt. Das Spektrum entsteht bei R.-V. Dort ist längs einer Leiste 6 das bei Mikroskop 7 verschiebbar. Ein Schirm 5 hält Nebenlicht vom Mikroskop ab. Der Mikroskop-Kondensator erzeugt ein Bild der Öffnung der Kollektorlinse 2. Durch Fokussieren des Kondensators muß dieses Bild in die Objektebene entworfen werden.

Dieses Bild, das Leuchtfeld, muß über die ganze Fläche, rechts wie links, gleichmäßig gefärbt sein. Man erreicht dies durch Fokussieren der Lichtquelle 1 (oder des Kollektors 2) längs der optischen Bank¹⁾. Zur Feststellung der im Leuchtfeld wirkenden Wellenlängen diente das Spektralekular nach ABBÉ mit Wellenlängenskala. Zur Bestimmung der Wellenlänge muß ein Objektiv benutzt werden, dessen Apertur mindestens der wirksamen Apertur des Kondensators gleichkommt; sein Sehfeld kann aber, wenn die Einstellung auf gleichmäßige Färbung des Leuchtfeldes sorgfältig ausgeführt ist, kleiner sein, wie das Leuchtfeld. Zur groben Einstellung wurde eine Wellenlängenskala auf Leiste 6 angebracht. Zum Aufsuchen des wirksamen Ultrarot diente, wie bei den früheren Versuchen ein Glimmerblättchen mit Silberquecksilberjodid. Als Mikroskopkondensator wurde die untere Linse des aplatischen Kondensators 1,4 verwendet, deren numerische Apertur 0,4 beträgt.

Die geschilderte Versuchsanordnung hat den großen Vorteil, daß durch Anwendung eines vertikalen Nernstfadens das Vorschalten eines Spaltes überflüssig und die dadurch bedingte Schwächung der Lichtquelle vermieden wird.

Ich begann bei der Grenze des sichtbaren Rot mit dem Bezirk von 680—710 $\mu\mu$; hier war nach $1\frac{1}{2}^h$ noch keine Plasmaströmung wahrzunehmen. Im Bezirk 620—680 $\mu\mu$ trat sie nach

1) Vgl. Zeitschr. f. wiss. Mikrosk. 16, 1899, S. 11.

$1\frac{1}{2}$ h auf und im Licht von 600—650 $\mu\mu$ war sie schon nach kurzer Zeit sichtbar, gegen Blau und Violett nahm dann die Wirkung ab, was ja wegen der größeren Dispersion und des geringeren Reichtums der Lichtquelle an blauen und violetten Strahlen zu erwarten war. Vom äußersten sichtbaren Rot ging ich dann weiter ins Ultrarot. Zunächst kam ein Bezirk, in dem sich keine Wirkung zeigte und wo auch mit dem Glimmerplättchen keine Wärmestrahlen festzustellen waren. Erst in 8 cm Entfernung vom Ende der sichtbaren Strahlen begann ein Bezirk mit sehr wirksamen Strahlen. Es wurde dadurch sichergestellt, daß die ultraroten Strahlen für sich allein imstande sind, Strömung hervorzurufen.

Aus Literaturangaben¹⁾ war mir bekannt, daß durch Erwärmen zwar eine vorhandene Strömung beschleunigt, nicht aber eine Strömung erregt werden kann. Ich stellte mehrmals Versuche in dieser Richtung mit unverletzten *Elodea*-Sprossen an und konnte diese Beobachtungen nur bestätigen. Ich legte Sprosse von *Elodea* aus Wasser von Zimmertemperatur für 5—30' in Wasser von Temperaturen von 30—40°, doch trat nie Strömung ein. Direkte Bestrahlung scheint also anders zu wirken als diffuse Wärme. Auch plötzliche Temperaturschwankungen um Intervalle von 10—20° sollen nach HAUPTFLEISCH und VELTEN imstande sein bei *Elodea* und *Vallisneria* Strömung hervorzurufen; *Vallisneria* soll sich als besonders empfindlich erweisen.

In einigen Fällen ließ ich Licht längere Zeit auf strömendes Plasma einwirken. Bei Rot von 680—710 $\mu\mu$ hörte nach 4 h die Strömung auf und die Chlorophyllkörner hatten Dunkelstellung angenommen; es trat aber in Licht von etwas kürzerer Wellenlänge nach wenigen Minuten wieder Strömung ein. Die Intensität der hier angewandten roten Strahlen war offenbar eine so geringe, daß sie wie Dunkelheit wirkten; denn sie waren ja auch nicht imstande in ruhenden Zellen Bewegung auszulösen. Bei Licht von 580—630 $\mu\mu$ war nach $3\frac{1}{2}$ h die Strömung gleichfalls zur Ruhe gekommen, jedoch ohne daß die Chlorophyllkörner Dunkelstellung angenommen hätten. Auch bei nachheriger Verdunkelung änderten sie ihre Stellung nicht mehr. Es handelte sich hier um eine Schädigung durch die zu intensive Lichtwirkung. PRINGSHEIM²⁾ hat festgestellt, daß durch starke Bestrahlung die Protoplasmaströmung zur Ruhe kommt und die Zellen getötet werden. Er fand, daß diese Wirkung bei

1) HAUPTFLEISCH, Jahrb. f. wiss. Bot. 24, 1892, S. 207 ff. Velten, Flora 59. 1876, S. 193.

2) PRINGSHEIM, Jahrb. f. wiss. Bot. 12, 1879—1881, S. 288.

den kurzwelligen Strahlen größer war als bei den langwelligen und daß sie an die Gegenwart von O_2 gebunden ist.

Ob für die erregende Wirkung des Lichtes auf die Plasmaströmung dasselbe gilt, ist noch nicht mit Sicherheit festgestellt. Zwar fand ich in Versuchen, wo ich *Elodea*sprosse und Blattstücke von *Vallisneria* in Wasser, in welchem der Sauerstoff durch Wasserstoff ersetzt war, dem Licht aussetzte, daß keine Strömung auftrat. Hatte ich vorher Strömung erregt (z. B. durch Belichtung), so kam sie bei *Elodea* bei O_2 -Mangel rasch zum Stillstande, nicht jedoch bei *Vallisneria*. Doch lassen sich diese Angaben, auf die ich wegen der Unvollständigkeit meiner Versuche nicht näher eingehen will, auch so deuten, daß eben die O_2 -Gegenwart für die Plasmaströmung eine *Conditio sine qua non* ist und kein direkter Zusammenhang zwischen Licht und O_2 -Gegenwart besteht. Bei *Vallisneria*, welche gegen O_2 -Mangel unempfindlicher ist als *Vallisneria*, würde der durch die Assimilation im Lichte gelieferte O_2 schon genügen, um die Strömung wenigstens eine Zeitlang zu unterhalten.

Zu Versuchen mit spektral zerlegtem Licht benutzte ich auch noch einige andere Pflanzen. In Schnitten von *Vallisneria* tritt im Dunkeln in den Epidermiszellen erst nach langer Zeit Strömung auf, es gelang jedoch durch Belichtung in den einzelnen Spektralbezirken, auch im Ultrarot den Eintritt der Rotation schon nach kurzer Zeit hervorzurufen. Rot von 680—710 $\mu\mu$ wirkte auch hier wie Dunkelheit, es trat die Strömung hier nicht früher ein als in den Kontrollschnitten, die im Dunkeln lagen.

In den Staubfadenhaaren von *Tradescantia zebrina* und *virginica* und in den Wurzelhaaren von *Hydrocharis* konnte die Strömung durch grüne, gelbe, rote und ultrarote Strahlen merklich beschleunigt werden.

Die erwähnten Versuche kurz zusammenfassend, kann ich also sagen, daß alle sichtbaren Strahlen imstande sind, in *Elodea*- und *Vallisneriazellen* Plasmaströmung zu erregen, daß ferner diese Wirkung auch den ultraroten und ultravioletten Strahlen zukommt. Nun blieb noch die Frage offen, wie sich die verschiedenen Strahlen bezüglich der Stärke ihrer Wirksamkeit verhalten; sie konnte nur durch Verwendung von Strahlen gleicher Energie gelöst werden.

II.

Der 2. Teil der Arbeit, umfassend quantitative Versuche mit Strahlen verschiedener Wellenlänge, wurde im pflanzenphysiologischen Institute der Prager deutschen Universität im Frühjahr 1914

und 1915 ausgeführt. Die Erzeugung des Spektrums erfolgte nach der oben geschilderten Anordnung, nur benutzte ich statt der achromatischen Kollektorlinse ein Projektionstessar von ZEISS, das zwar chromatisch korrigiert ist, jedoch den Nachteil hat, da es aus mehreren Linsen besteht, eine erhebliche Schwächung des Lichtes herbeizuführen. Als Mikroskopkondensator benutzte ich die untere Linse des ABBÉschen Kondensors mit der numerischen Apertur 1.20. Die Messung der Lichtintensität erfolgte mit einer RUBENSschen Thermosäule. Ich ließ mir zu diesem Apparat einen Ansatz machen, dessen Breite genau der Breite des Mikroskopspiegels entsprach und der genau an die Stelle zu stehen kam, an der sich dann der Mikroskopspiegel befand. Die Stärke des erzeugten Thermostroms wurde mit einem Spulengalvanometer mit Fernrohrablesung von KÖHLER in Leipzig gemacht. Für gleichmäßige Temperatur im Versuchsraum, der Dunkelkammer des Instituts, war stets gesorgt, sie lag zwischen 10 und 15 °. Die Drähte waren an Seidenfäden aufgehängt so, daß weder eine Berührung der Wand noch eine Berührung der Drähte untereinander stattfand. Der Kommutator war gegen Temperaturschwankungen isoliert untergebracht in zwei ineinander befindlichen Holzschachteln, deren Zwischenraum mit Watte ausgefüllt war. Herrn Prof. LAMPA, der mir bei der Aufstellung des Galvanometers behilflich war, spreche ich hierfür meinen herzlichen Dank aus, ebenso Herrn Prof. WIECHOWSKI für die leihweise Überlassung der optischen Bank.

Durch Vorversuche überzeugte ich mich zunächst, daß die Einstellung der Thermosäule ziemlich rasch erfolgte, nach etwa 1' blieben die aufeinanderfolgenden Ausschläge annähernd konstant, so daß ich mich mit vier Ablesungen begnügte, aus denen dann das Mittel genommen wurde. Betrug die Abweichungen aufeinanderfolgender Ablesungen mehr als 2 mm der Skala, so waren weitere Messungen erforderlich. Eine Eichung der Instrumente wurde nicht vorgenommen, da es mir bei den Intensitätsbestimmungen nur auf einen Vergleich, nicht aber auf Ermittlung absoluter Werte ankam. Zur Bestimmung der Wellenlänge des Lichtes diente wie in den früheren Versuchen ein ZEISSsches Mikrospektralokular.

Die Messungen über die Verteilung der Lichtintensität im Spektrum der Nernstlampe ergaben, wie aus Abb. 2 ersichtlich, daß die Intensität weitaus am größten im Ultrarot ist (176, manchmal sogar bis über 200 Skalenteile), von den sichtbaren Strahlen sind die roten die intensivsten, doch schon weit schwächer als die

ultraroten (etwa 10 Skalenteile), dann nimmt die Intensität langsam noch etwas weiter ab, bis zu einem Minimum im Blaugrün, um dann gegen das Violett und Ultraviolett wieder schwach anzusteigen. Es gelang mir im Violett und Grün Stellen von gleicher Intensität herauszufinden, die ich direkt zu vergleichenden Versuchen benutzen konnte. Nur um die roten und namentlich die ultraroten Strahlen auf gleiche Intensität herabzustimmen, mußte ich Filter anwenden. In solchen Fällen erweisen sich flüssige Filter als die geeignetsten, da man durch Konzentrationsänderung in der Lösung eine bequeme Möglichkeit der Abstufung hat. Zur Abschwächung des roten Lichtes verwendete ich eine CuSO_4 -Lösung,

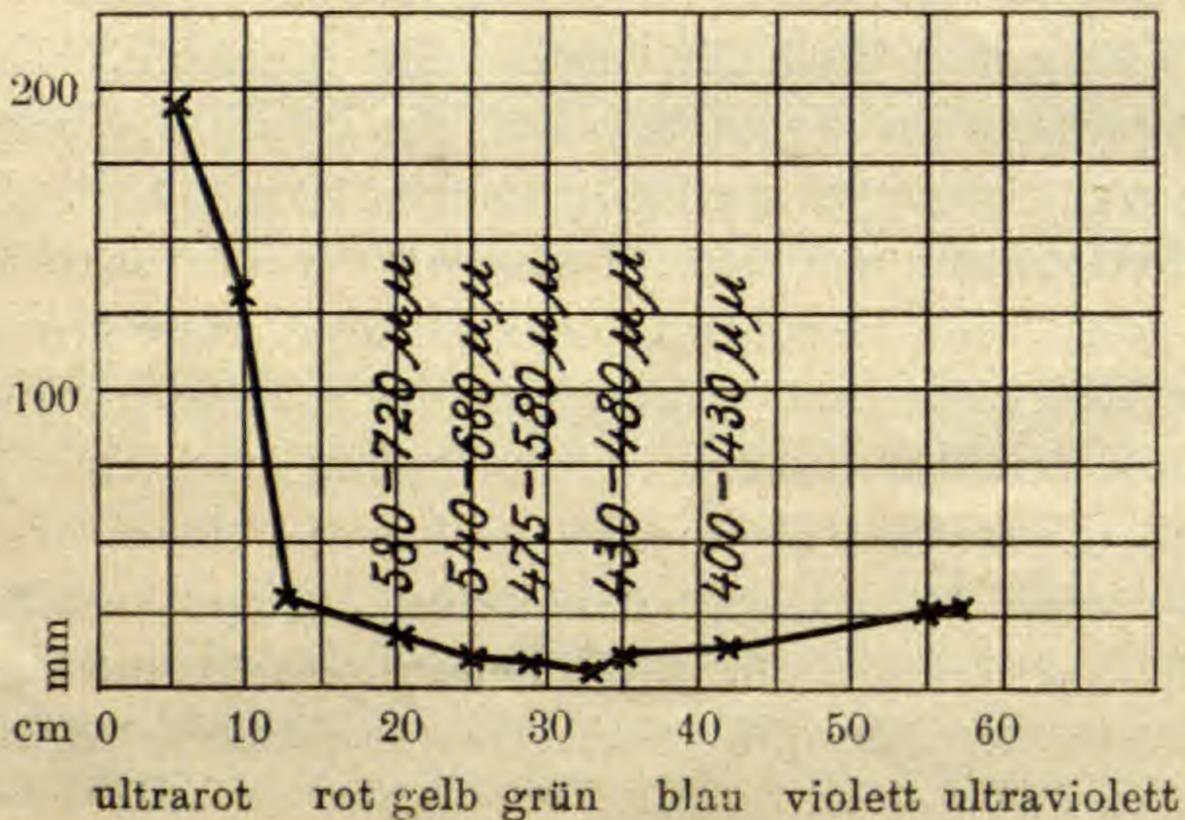


Abb. 2. Verteilung der Intensität im Spektrum der Nernstlampe. Abszissenachse: Ablesungen in Zentimeter von der empirischen Skala auf der Holzleiste, längs der das Mikroskop verschoben wurde. Ordinatenachse: Ausschläge des Galvanometers in Millimetern der Fernrohrskala.

zur Abschwächung des Ultrarot eine Küvette mit Wasser oder mit konzentrierter NaCl -Lösung; bei Anwendung der letzteren zeigte sich, daß an gewissen Stellen eine fast vollständige Auslöschung eintrat (Absorptionsband), an anderen wieder eine ganz geringe Herabminderung. In einigen Fällen arbeitete ich mit Rot, Grün und Violett von gleicher Intensität, in anderen mit Ultrarot und Rot, wobei ich dann das ungeschwächte rote Licht benutzen konnte. Bei Bestrahlung mit Ultrarot mußte natürlich die Untersuchung im sichtbaren Teil des Spektrums vorgenommen werden, an einer Stelle mit geringer Intensität. Die Intensitätsmessungen wurden stets unmittelbar vor Einstellung eines Versuches vorgenommen.

Als Versuchspflanzen benutzte ich *Elodea*, *Vallisneria* und *Tradescantia viridis*. Für *Elodea* und *Vallisneria* gilt das früher Gesagte. In einigen Fällen belichtete ich gleichzeitig auf zwei ganz gleichen Mikroskopen je ein Blatt von zwei *Elodea*-Sprossen. Später zog ich es vor, um die individuellen Schwankungen herabzusetzen, die Versuche mit verschiedenen Blättern desselben Sprosses hintereinander anzustellen. Bei *Vallisneria* benutzte ich Epidermisschnitte aus nahe benachbarten Blatteilen und stellte die Versuche gleichzeitig, einige auch hintereinander, an; stets hatte ich zur Kontrolle einen verdunkelten Schnitt, bei dem während der Zeit, über die sich meine Versuche erstreckten, nie Strömung auftrat. Stets ergab sich dabei, daß im Rot und Ultrarot die Strömung nach kürzerer Zeit eintrat als in den übrigen Spektralbezirken — so war in einigen Fällen im Rot und Ultrarot nach 5–10' schon Strömung vorhanden, im Grün erst nach 10–20', während im Violett nach einer Stunde noch keine Bewegung zu beobachten war. Dabei wählte ich meist im Violett Stellen mit etwas größeren Ausschlägen der Thermosäule als in den anderen Bezirken, und doch war manchmal erst nach $1\frac{1}{2}^h$ eine schwache Strömung festzustellen, manchmal auch nach dieser Zeit noch nicht, es wirkt also dieses Licht wie Dunkelheit, und erst violette Strahlen von größerer Intensität vermögen eine Strömung auszulösen. Zwischen Rot und Ultrarot war kein auffallender Unterschied, doch wenn ein solcher vorhanden war, war er stets zugunsten des Ultrarot.

Die Staubfadenhaare von *Tradescantia viridis* benutzte ich, um die Geschwindigkeit der Plasmaströmung in den einzelnen Spektralbezirken zu messen. Auch hier stellte ich die Messungen meist an ein und derselben Zelle an, um individuelle Schwankungen auszuschalten. Die Messungen wurden mit Okularmikrometer und Stoppuhr vorgenommen und die Zeit gemessen, die ein Körnchen brauchte, um 10 Teilstriche meiner Okularmikrometerskala zu durchlaufen. Aus 10 Messungen wurde das Mittel genommen. Es ergab sich, daß die Strömung im Ultrarot am schnellsten war, dann folgte Rot, Grün, Violett. Belichtung von $\frac{1}{4}^h$ genügte, um eine deutliche Geschwindigkeitsänderung herbeizuführen. Bei nachheriger Verdunklung war schon nach kurzer Zeit eine Herabsetzung der Geschwindigkeit bemerkbar.

Es läßt sich also schließen, daß bezüglich der erregenden Wirkung des Lichtes auf die Plasmaströmung vom langwelligen zum kurzwelligen Teil des Spektrums eine stete Abnahme erfolgt. Es war mir allerdings nicht möglich, alle einzelnen Spektralbezirke im engeren Umfange zu messen, da hierzu die Lichtintensität eine

zu geringe war. Bemerkenswert ist auch, daß grüne und nicht grüne Zellen dasselbe Verhalten zeigten, daß also die Absorption des Chlorophylls hier keine Änderung bewirkt.

Eine besonders starke Wirkung kam in meinen Versuchen den Wärmestrahlen zu. Es ist nun, wie bereits erwähnt, nicht möglich, bei Erwärmung eines *Elodea*-Sprosses durch Einlegen in warmes Wasser in den Blättern Plasmaströmung hervorzurufen. Doch schien es mir denkbar durch lokale Erwärmung eines Blattes oder Blattteiles, also durch Erzeugung eines Temperaturgefälles, dieses Ziel zu erreichen. Denn in den Lichtversuchen wurde ja stets nur eine kleine Anzahl von Zellen der strahlenden Energie ausgesetzt, und auch bei den Versuchen, wo ganze Sprosse dem Sonnenlicht oder Bogenlicht ausgesetzt wurden, war die Verteilung des Lichtes, schon infolge der gegenseitigen Beschattung, keine gleichmäßige. Ich legte gesunde *Elodea*-Sprosse auf einem Objektträger auf den Objektisch des Mikroskopes und legte über eines der Blätter eine Kapillare, durch welche aus einem gegen Wärme isolierten Gefäß ein ständiger Strom warmen Wassers ging. Das Wasser hatte in dem Vorratsgefäß eine Temperatur von 42—45 °, an der das Blatt berührenden Stelle der Kapillare war sie jedenfalls um einige Grade niedriger. Schon nach wenigen Minuten war in den erwärmten Teilen des Blattes Strömung zu beobachten, die nach 10—15' ziemlich intensiv wurde und dann schon im ganzen Blatte, besonders in den Zellen der Mittelrippe und meist auch in den zunächst benachbarten Blättern eintrat, während in den entfernteren Blättern keine Strömung sichtbar wurde. Die obige Vermutung hatte sich also als richtig erwiesen.

Was nun die Deutung der Erscheinung betrifft, daß durch das Licht die Plasmaströmung erregt werden kann, so ist eine solche schwer zu geben, solange die Ursache der Plasmaströmung selbst nicht näher aufgeklärt ist. Ich dachte an einen Zusammenhang mit der Permeabilitätsänderung. Falls es richtig ist, daß durch Licht und Temperatur die Permeabilität der Plasmahaut erhöht wird (LEPESCHKIN¹), TRÖNDLE²), so wäre es denkbar, daß dadurch der Austritt von Stoffen aus den Zellen in die Umgebung bewirkt wird und dies zur Ursache der Plasmaströmung wird. Wenn ein solcher Zusammenhang bestünde, müßte die Permeabilitätserhöhung durch langwellige Strahlen größer sein als durch kurzwellige. Auch dann sind natürlich andere Deutungen nicht

1) LEPESCHKIN, Beih. z. bot. Ztrbl. 24, I, 308.

2) TRÖNDLE, Jahrb. f. wiss. Bot. 48, 171, 1910.

ausgeschlossen. Auch beabsichtige ich weiterhin einen möglichen Zusammenhang zwischen Atmung und Wirkung der Wärmestrahlen bei der Plasmaströmung ins Auge zu fassen. Daß aber kein Zusammenhang zwischen Assimilation und Plasmaströmung besteht, scheint mir aus meinen Untersuchungen klar hervorzugehen.

Zusammenfassung.

1. Durch intensive Belichtung gelingt es in den Blättern von unverletzten *Elodea*-Sprossen, Plasmaströmung hervorzurufen.
 2. Allen sichtbaren Strahlen kommt diese Wirkung zu, ferner auch den ultravioletten und den ultraroten.
 3. Quantitative Messungen ergaben, daß die die Plasmaströmung erregende Wirkung mit der Wellenlänge des Lichtes zunimmt.
 4. Diffuse Erwärmung eines Sprosses durch Eintauchen in warmes Wasser vermag keine Strömung hervorzurufen, dagegen wohl die Anwendung eines Temperaturgefälles durch lokale Erwärmung eines einzelnen Blattes.
-

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft](#)

Jahr/Year: 1915

Band/Volume: [33](#)

Autor(en)/Author(s): Nothmann-Zuckerandl Helene

Artikel/Article: [Über die Erregung der Protoplasmaströmung durch verschiedene Strahlenarten. 301-313](#)