

Über die Einwirkung der Lichtstrahlen von $280 \mu\mu$ Wellenlänge auf Pflanzenzellen.

Von

Joh. Schulze.

Mit Tafel I und II und einer Abbildung im Text.

Einleitung.

Die Strahlen von $280 \mu\mu$ Wellenlänge gehören zu den ultravioletten Strahlen des Spektrums. Über die Natur dieser Strahlen sind wir genau orientiert. Es sind die am stärksten gebrochenen Strahlen. Die chemische Wirkung ist hier am stärksten, die kalorische am geringsten. Man faßt sie daher mit den blauen und violetten als chemische Strahlen zusammen. Über die Wirkung der letzteren sagt Finsen in seiner Arbeit „Über die Bedeutung der chemischen Strahlen des Lichtes für Medizin und Biologie“: „Wenn man eine Reihe von Beobachtungen über den Einfluß monochromatischen Lichtes auf verschiedene Organismen zusammenhält, so zeigt es sich, daß lebende Organismen durch sie unangenehm beeinflusst werden, ja, daß die chemischen Strahlen sogar, wenn sie genügend stark sind, geradezu schädlich wirken!¹⁾ Aus dieser Arbeit Finsens geht auch hervor, welchen wichtigen therapeutischen Faktor wir in den kurzwelligen, besonders den ultravioletten Strahlen besitzen. Ihre physiologische Wirkung ist denn auch in neuerer Zeit wiederholt Gegenstand von Untersuchungen gewesen, die hauptsächlich darauf hinausgingen, durch die Erforschung der Wirkung dieser Strahlen auf den lebenden Organismus, besonders auf das lebende Protoplasma, neue Grundlagen für ihre Verwertbarkeit in der Medizin zu gewinnen. Die Versuche wurden vorwiegend an zoologischen Objekten ausgeführt. Untersuchungen über die Beeinflussung des Pflanzenorganismus durch ultraviolette Strahlen können nun nicht nur von diesem, sondern auch von dem botanischen Gesichtspunkte aus großes Interesse beanspruchen.

¹⁾ p. 8.

Bekanntlich sind die verschiedenartigen Strahlen des weißen Lichtes auch für die Pflanzen physiologisch ungleichwertig. Während für die Assimilation vorwiegend Strahlen zwischen den Fraunhoferschen Linien *B* und *C* in Betracht kommen, werden Wachstums- und Bewegungsvorgänge hauptsächlich durch die stärker brechbaren Strahlen bedingt.

Ihre besondere Berücksichtigung erscheint noch aus folgenden Gedanken heraus sehr berechtigt. Der Unterschied in der Wellenlänge zwischen den roten Strahlen (Fraunhofersche Linie *C—B*) und den mittleren blauen Strahlen (Linie *F—G*) beträgt etwa 200 $\mu\mu$; eine ähnlich große Differenz besteht auch zwischen Blau, *F—G*, und den äußersten nicht gerade zu schwach auftretenden ultravioletten Strahlen des Sonnenlichts oder dem Licht der Magnesiumlinie von 280 $\mu\mu$ Wellenlänge. Es ist demnach nicht ausgeschlossen, daß sich zwischen den sichtbaren blauen und den ultravioletten Strahlen von 280 $\mu\mu$ Wellenlänge ein ähnlicher Unterschied in der physiologischen Wirksamkeit zeigt, wie zwischen den sichtbaren blauen und roten Strahlen.

Versuche, bei denen Pflanzenzellen besonders der Wirkung der ultravioletten Strahlen ausgesetzt werden, entsprechen auch teilweise den natürlichen, unter gewöhnlichen Bedingungen auf die Pflanzen wirkenden Verhältnissen; denn das Licht der Sonne ist sehr ultraviolettreich. Es gelangen aber keineswegs alle ultravioletten Strahlen auf die Erde, da besonders durch die tieferen dichten Luftschichten ein großer Teil derselben absorbiert wird. In höheren Schichten der Atmosphäre sind sie also reichlicher noch im Licht enthalten, und man glaubt daher, da, soweit bekannt, den ultravioletten Strahlen eine hohe formative Wirksamkeit zukommt,¹⁾ ihnen neben andern Faktoren einen großen Anteil an der abweichenden Formation unserer Gebirgsflora zuschreiben zu müssen.

Literatur.

Von seiten der Pflanzenphysiologen sind noch keine Untersuchungen über den direkten Einfluß des ultravioletten Lichtes oder einer bestimmten Linie dieses Spektralbezirks auf die Pflanzenzellen angestellt worden. Es rührt das wohl daher, daß bis vor kurzem geeignete Apparate, die ultravioletten Strahlen zu isolieren und mit ihnen bequem arbeiten zu können, fehlten.

Meist half man sich damit, die ultravioletten Strahlen auszuschalten und durch Vergleich mit den Versuchen, in denen sie nicht vor dem Objekt abgefangen waren, auf ihre Wirkung zu schließen.

So kultivierte Sachs in Kästen hinter Küvetten, die teils Wasser, teils Chininsulfatlösung enthielten, *Tropaeolum majus*, erzielte hinter den mit Chininsulfatlösung gefüllten Küvetten, die die ultravioletten Strahlen absorbierten, geringere Blütenbildung und

¹⁾ Pfeffer, Pflanzenphysiologie. II. p. 119.

schloß nun aus dem Resultat auf eine Begünstigung der Blütenbildung durch die ultravioletten Strahlen.¹⁾

Von den vielen pflanzenphysiologischen Arbeiten, die die Wirkung verschiedener Spektralbezirke auf Pflanzen zum Gegenstand haben, ist eine der wichtigsten Pringsheims Arbeit über „Lichtwirkung und Chlorophyllfunktion“.²⁾ Da der von mir benutzte Apparat eine ähnliche Versuchsanstellung wie die von Pringsheim angewandte gestattete, so lag es nahe, seine Untersuchung über intensive Lichtwirkung verschiedener Spektralbezirke auch auf das Licht der Strahlen von 280 $\mu\mu$ Wellenlänge auszudehnen. Ich will hier nur die wichtigsten Ergebnisse seiner Arbeit wiedergeben, da ich noch im Laufe der Untersuchung näher darauf eingehen muß.

Pringsheim bestrahlte die Pflanzen mit konzentriertem Sonnenlicht. Er wählte als Objekte besonders Algen, Moose und Pflanzenhaare. Die auffälligste Wirkung dieses Lichtes ist die schnelle, völlige Entfärbung des Chlorophyllfarbstoffes. Das gelingt sogar, ohne die Zelle zu töten, doch ist auch der Lichttod sehr bald herbeizuführen. Wird bei Zellen mit Plasmabewegung die Bestrahlung vor dem Lichttod gerade, wenn die Bewegung aufhört, abgebrochen, so kehrt sie in vielen Fällen in ganz normaler Weise früher oder später zurück. Außerdem treten noch Störungen auf, indem die Plasmastränge Knotenbildungen zeigen, zerreißen und der Kern deplaziert wird. Diese Erscheinungen erfolgen in weißen und blauen Sonnenbildern rasch und energisch, in roten bleibt die Wirkung unter gleichen Umständen aus. Ferner zeigt sich, wenn die Versuche in bestimmten Gasen und Gasgemengen ausgeführt werden, daß bei Ausschluß von Sauerstoff in intensiven Sonnenbildern jeder Farbe die nicht grünen und grünen Zellen immun bleiben.³⁾

Arbeiten, die sich mit der Wirkung des ultravioletten Lichtes speziell beschäftigen, sind erst in den allerletzten Jahren erschienen.

Jacques Loeb konstatiert, daß die positiv heliotropischen Larven von *Balanus* unter dem Einfluß des Lichtes einer Quecksilberlampe negativ heliotropisch werden, und es auch noch eine Zeit lang bleiben, auch wenn sie darnach einer anderen Lichtquelle, wie diffusem Tageslicht oder Glühlicht ausgesetzt werden.⁴⁾

Die bakterientötende Wirkung des ultravioletten Lichtes wurde von Thiele und Wolf näher untersucht und erwiesen, daß gerade den Strahlen zwischen 265—300 $\mu\mu$ Wellenlänge eine erhebliche bakterizide Wirkung innewohnt.⁵⁾ Diese tödliche Wirkung des Lichtes ist allgemein bekannt. „Das Licht ist das beste,

1) Sachs, Arbeiten d. bot. Inst. z. Würzburg. 3. p. 372.

2) Jahrbücher f. wiss. Botanik. Bd. XII. p. 288.

3) Pringsheim, l. c. p. 341.

4) Loeb, J., Über die Erregung v. negativem Heliotropismus durch ultraviol. Strahlen. (Arch. f. d. ges. Physiologie. 115. 1906. p. 576.)

5) Thiele und Wolf, Über d. Abtötung von Bakterien durch Licht. (Archiv f. Hygiene. 57. 1906. p. 51.)

billigste und am meisten verbreitete bakterizide Mittel, das wir haben“, sagt Duclaux¹⁾).

Auch Hertel hat nachgewiesen, daß wir diese Wirkung besonders den ultravioletten Strahlen verdanken.²⁾

Als Ausgangspunkt für seine Untersuchungen „Über die Beeinflussung des Organismus durch Licht, speziell durch die chemisch wirksamen Strahlen“, wählt er das Licht von 280 $\mu\mu$ Wellenlänge, die charakteristische Magnesiumlinie, „weil sie als die wohl intensivste aller chemisch wirksamen Linien die markantesten Wirkungen versprach.“³⁾

Von lebenden Organismen bestrahlte er zunächst außer den Bakterien Paramaecien. Zu Beginn der Bestrahlung wurde die Bewegung derselben lebhafter, dann ging dieselbe in eine immer enger werdende Kreisbewegung über, und schließlich kam es zum Stillstand. Bald nach Aufhören der Lokomotion schwoll der Leib, namentlich bei kleinen Infusorien, kugelig an. An den Polen erschienen größere und kleinere wasserhelle Tröpfchen, und dann zerflossen die Tiere. Bei anderen Arten traten heftige Kontraktionsbewegungen mehr in den Vordergrund. Dieselben Erscheinungen zeigten sich bei Süßwasserpolypen, Rädertierchen, Faden- und Ringelwürmern und Schneckenembryonen. Die Wirkung des Lichtes auf Pflanzenzellen untersuchte er an *Elodea canadensis*, *Oscillarien* und *Diatomeen*. *Elodea canadensis* zeigte bei Bestrahlung eine Verlangsamung der Plasmaströmung. Nach wenigen Minuten hörte die Bewegung ganz auf.⁴⁾ Die frei beweglichen, stark heliotropischen *Oscillarien* wichen aus dem Strahlenfelde zurück. Nach Aufhören der Bestrahlung wanderten die Fäden wieder in das Beleuchtungsfeld zurück, das ein schwaches, von ultravioletten Strahlen freies Licht hatte. Aber dieses Zurückwandern erfolgte langsamer als das Auswandern. Bei längerer Bestrahlung hörte die phototropische Bewegung ganz auf.⁵⁾ Auch *Diatomeen* stellten ihre Bewegung bei Bestrahlung ein.⁶⁾

Versuchsordnung.

Die Versuchsordnung Hertels ist im wesentlichen dieselbe wie bei der mikrographischen Einrichtung für ultraviolettes Licht, die mir durch die Königliche Akademie der Wissenschaften in Berlin gütigst zur Verfügung gestellt war. Eine genaue Beschreibung derselben hat Köhler, der dieselbe konstruiert hat, in einer besonderen Abhandlung gegeben.⁷⁾ Die besonderen Vorteile,

¹⁾ cit. n. Finsen, l. c. p. 9.

²⁾ Hertel, Über d. Beeinflussung d. Organismen durch Licht, spez. durch die chemisch wirksamen Strahlen. (Zeitschrift für allg. Physiologie. 4. 1904.)

³⁾ Hertel, l. c. p. 5.

⁴⁾ Hertel, l. c. p. 17.

⁵⁾ Hertel, l. c. p. 19.

⁶⁾ Hertel, l. c. p. 19.

⁷⁾ Köhler, Mikrographische Untersuchungen mit ultrav. Licht. (Zeitschrift für wissensch. Mikroskopie u. f. mikroskopische Technik. Bd. 21. 1904. p. 129—165 u. 273—304.)

die dieser Apparat bietet, sind erstens die Steigerung des Auflösungsvermögens durch die Anwendung des sehr kurzwelligen Lichtes. Ferner ist damit die Durchlässigkeit der Objekte für ultraviolettes Licht leicht zu prüfen mit Benutzung der Photographie. Zahlreiche im weißen Licht durchsichtige Objekte zeigen nämlich im ultravioletten Licht beträchtliche Unterschiede in der Durchlässigkeit. Drittens ist die physiologische Wirkung der ultravioletten Strahlen auf lebende Objekte bequem zu untersuchen.

In der vorliegenden Arbeit habe ich mich besonders mit der Frage nach der physiologischen Wirkung der ultravioletten Strahlen auf pflanzliche Objekte beschäftigt, hielt es aber für nötig, vor Beginn dieser Untersuchung mich über die Durchlässigkeit der Gewebe, Zellen und Zellelemente zu orientieren. Denn wenn wir wissen, wie die einzelnen Zellelemente das Licht absorbieren, und wie weit bei der Bestrahlung durch die natürliche Lage übereinander — die Zellen werden nur von einer Seite bestrahlt — die oberen Teile geschützt sind, so gelangen wir dadurch zu einer richtigeren Beurteilung der Wirkungen, die durch das ultraviolette Licht in den lebenden Zellen hervorgebracht werden.

Die für die Untersuchung benutzte Köhlersche Einrichtung besteht in der Hauptsache aus zwei Teilen, dem Beleuchtungsapparat und der photographischen Vorrichtung.

Die Magnesiumlinie von $280 \mu\mu$ Wellenlänge wird dadurch gewonnen, daß das Funkenlicht zweier Magnesiumelektroden spektral zerlegt wird. Zur Gewinnung der Funken wird Gleichstrom von 110 Volt in einen Induktor geleitet, der mit den Elektrodenhaltern verbunden ist. Die Unterbrechung des Stromes wird durch einen Simon'schen Flüssigkeitsunterbrecher (eine Abänderung des Wehnelt-Unterbrechers) erzielt.

Sämtliche Linsen und Prismen sind an dem Beleuchtungsapparate aus Quarz, da Glas die ultravioletten Strahlen nur bis $290 \mu\mu$ Wellenlänge hindurchtreten läßt. Die von dem überspringenden Funken ausgehenden Strahlen werden durch einen Kollimator parallel gemacht und auf die Seitenfläche eines Quarzprismas geworfen. Dann, von einem zweiten Quarzprisma noch einmal gebrochen, fallen sie auf den Kollektor, der sie zu einem etwa zehnmal vergrößerten Bilde des Funkens vereinigt, das auf einem den Strahlen entgegengestellten fluoreszierenden Schirm leuchtend sichtbar wird. Die Strahlen haben durch die beiden Prismen eine Ablenkung von 90° erfahren. Alle diese Teile des Beleuchtungsapparates sind auf einer optischen Bank verschiebbar angebracht. Durch ein unter dem Mikroskop befindliches Prisma werden die ultravioletten Strahlen dann senkrecht nach oben reflektiert. Im Diaphragmenträger des Abbéschen Beleuchtungsapparates liegt eine Uranglasplatte mit eingetzter Kreislinie, auf der das Funkenbild in die Achse des Mikroskops eingestellt werden kann. Darüber befindet sich ein Kondensator aus Bergkristall, durch den die Strahlen in der Objektebene zu einem Brennpunkte vereinigt werden. Für die Prüfung der Durchlässigkeit der Objekte mit Hilfe der Photographie sind auch Quarz-Objektive und

Okulare anzuwenden. Über dem Mikroskop befindet sich an einer vertikalen drehbaren Eisenstange die verschiebbare Kamera. 3 Quarzobjektive (I. 5,7 mm, n. A. 0,35; II. 2,5 mm, n. A. 0,85; III. 1,7 mm, n. A. 1,25) sind dem Apparat beigegeben. Nach der Wahl des Objektives richtet sich auch bei den Aufnahmen die des Kondensorsystems. Für die schwächsten Monochromate ist das zweilinsige Kondensorsystem anzuwenden, für die stärkeren Monochromate wählte ich nur den dreilinsigen Kondensor. Für die beiden stärkeren Systeme sind abgestimmte Glycerinimmersionen vorhanden. Als Objektträger dienen senkrecht zur Achse geschliffene Plättchen aus Bergkristall von nur kleinem Formate 25:30 mm, die zur bequemeren Handhabung auf die Heidenhainschen Aluminiumobjektträger geschoben werden. Die Deckgläschen sind dünne, kreisrunde Plättchen aus amorphem Quarz von etwa 12 mm Durchmesser.

Auf die Einstellung der Objekte gehe ich später ein.

Bei den Untersuchungen über die physiologische Einwirkung dieser Strahlen auf Pflanzenzellen wurde das Deckgläschen durch ein gewöhnliches aus Glas ersetzt. Bei der Beobachtung ohne andere Beleuchtung zeigt sich dann im Gesichtsfeld an der Stelle, wo die ultravioletten Strahlen das Deckglas treffen, ein gelblicher Fluoreszenzfleck, so daß es leicht möglich ist, das zu bestrahlende Objekt genau in den Brennpunkt der Strahlen zu bringen. Bei allen diesen Untersuchungen benutzte ich nur den zweilinsigen Kondensor.

Die Drähte für den primären Strom wurden an die Klemmschrauben 6 und 8 des Induktoriums angelegt. Durch verstellbare Widerstände konnte die Stromstärke im Primärstrom von 1,5--2,8 Amp. verändert werden. Die Elektroden bestanden aus Magnesiumdraht. Bei Intensitäten von 2 Amp. abwärts benutzte ich als obere Elektrode Magnesiumband, um dadurch das mit schwächeren Intensitäten immer stärker werdende Hin- und Herflackern des Funkens abzuschwächen. Die Elektroden müssen, da besonders das Band schnell abbrennt, oft nachgestellt werden und das unregelmäßig abbrennende Band beschnitten werden. Die Länge des Funkens wird möglichst konstant auf 1 mm gehalten.

Für manche Objekte erwies sich aber die strahlende Energie im Brennpunkte auch der schwächeren Intensitäten als noch zu schädlich. Ich mußte also die Intensität noch weiter herabsetzen. Bei Stromstärken unter 1,4 Amp. sprang der Funke nicht mehr regelmäßig genug über. Für viele Versuche war auch ein größeres Bestrahlungsfeld nötig, als es der Brennpunkt gab. Ich verstellte daher den Kondensor, so daß ich in der Ebene des Objektes ein Bestrahlungsfeld von 1 cm Durchmesser bekam, was mit Hilfe von Fluoreszenzpapier leicht genau herzustellen ist. Dadurch erhalte ich auch zugleich ein Bestrahlungsfeld von viel schwächerer Intensität. Bei allen Versuchen mit einem Bestrahlungsfeld von 1 cm Durchmesser habe ich dies durch die Bemerkung „diffus“ gekennzeichnet.

Das Mikroskop stand mitten auf dem dazugehörigen Tische und war mit der Fußplatte 40 cm vom Kollektor des Beleuchtungs-

apparates entfernt. Neben den Beleuchtungsapparat stellte ich eine Gasglühlichtlampe, so daß ihr Licht an einer Seitenfläche des zweiten Prismas reflektiert zusammen mit den ultravioletten Strahlen in das Mikroskop geworfen wurde. Dadurch ist das Gesichtsfeld gerade genügend erleuchtet, um während der Bestrahlung Veränderungen des Objektes beobachten und Messungen ausführen zu können. Bei Versuchen, die ohne diese Beleuchtung angestellt wurden, ist es besonders vermerkt.

Bei den Untersuchungen, die ich mit intensivem blauen und roten Licht vornahm, folgte ich den genauen Angaben Pringsheims. Das von ihm benutzte Mikroskop, das im Besitz des pflanzenphysiologischen Institutes der Universität ist, wurde mir von Herrn Geheimrat Kny gütigst zur Verfügung gestellt.

Ein großer Spiegel am Fuße dieses Mikroskopes wirft das Licht auf eine umfangreiche Linse, und von dieser wird es in der Objektebene zu einem Brennpunkt vereinigt. Pringsheim stellte seine Versuche mit Sonnenlicht an. Ich benutzte elektrisches Bogenlicht. Die Mitte des Mikroskopspiegels war dabei von den Kohlenspitzen 25 cm entfernt. Der Objektisch des Mikroskopes ist in vertikaler Richtung beweglich zur Einstellung des Objektes in den Brennpunkt. Zur Herstellung farbigen intensiven Lichtes benutzte ich rotes und blaues Glas. Das Spektrum der von den Gläsern durchgelassenen Strahlen stimmte mit dem roten genau und bei dem blauen beinahe mit den von Pringsheim bezeichneten Spektren γ und x überein.¹⁾ Beim Spektrum des blauen Glases zeigten sich noch einige rote Linien. Für die Versuche mit Gasen benutzte ich dieselben Gaskammern wie Pringsheim sie anwendete.²⁾ Statt des Deckglases in dem Deckel des Metallkastens kittete ich ein Quarzglas auf für Vergleichsversuche mit ultraviolettem Licht. Um die bei der großen Nähe des Bogenlichtes auftretenden Wärmestrahlen zu absorbieren, stellte ich zwischen Mikroskop und Bogenlampe eine Kuvette, durch die während der Versuche ein Strom kühlen Wassers ständig lief.

Für die Untersuchung der Wirkung des ultravioletten Lichtes auf das Wachstum von *Mucor* benutzte ich Gaskammern, wie Lopriore sie in seiner Arbeit über den Einfluß der Kohlensäure auf das Protoplasma beschreibt.³⁾ Es sind Messingdosen mit Glasböden und Metalldeckel, dessen Mitte ein Deckglas einnimmt. Diese Gaskammern gestatten leicht, während der Bestrahlung den Glasdeckel durch einen Quarzdeckel zu ersetzen. Bei weiterer Beobachtung der Pilzhyphen in den Kammern konnten letztere dann wieder mit dem Glasdeckel verschlossen werden.

Die Energiemengen der verschiedenen Spektralbezirke sind nur durch thermoelektrische Messungen miteinander zu vergleichen. Um aber wenigstens für das ultraviolette Licht von dem Verhältnis der Wirkung der vielen verschiedenen Intensitäten eine bessere

¹⁾ Jahrbuch für wissenschaft. Botanik. Bd. 12. Tafel 26.

²⁾ Pringsheim, l. c. p. 320.

³⁾ Jahrbuch f. w. Botanik. Bd. 28. p. 590.

Vorstellung zu bekommen, habe ich die Wirkung der am meisten benutzten Intensitäten vermittelst der Farbenveränderung, die sie auf Bromsilber hervorrufen, verglichen. Als Grundlage für die Anstellung der Versuche diente der Infallible-Expositionsmesser von Wynnes, den ich aber nicht in dieser Form für meine Messungen benutzen konnte, da derselbe hinter Glas montiert ist.

Neben ein viereckiges Loch von 5 mm Seitenlänge einer dünnen schwarzen Papptafel klebte ich die beiden Normalpapiere des Expositionsmessers und brachte an der anderen Seite des Pappdeckels drehbar das lichtempfindliche Papier an. Dann wurde das Papier in der Objektebene im dunklen Zimmer der Bestrahlung ausgesetzt. In der folgenden Tabelle sind die Zeiten zusammengestellt, bei denen das Bromsilberpapier bei Stromstärken von 2,4, 2 und 1,7 Amp. im Primärstrom die Färbung des dunklen Normalpapiers erreicht hatte.

Ampère im Primärstrom	2,4	2	1,7
Brennpunkt	25"	47"	2' 25"
diffus Strahlenfeld 1 cm Drchm.	4' 50"	9' 50"	31'

Ein Vergleich der Wirkung sichtbaren Lichtes mit der des ultravioletten durch diese Messungen ist nicht zulässig.

Die Durchlässigkeit der Pflanzenzellen und der Zellelemente für Licht von 280 $\mu\mu$ Wellenlänge.

Wie schon erwähnt, werden diese Untersuchungen mit Hilfe der Photographie ausgeführt, da unser Auge die ultravioletten Strahlen nicht wahrnimmt, die photographische Platte aber gerade gegen diese Strahlen sehr empfindlich ist.

„In sehr vielen Fällen ist die Durchlässigkeit der einzelnen Teile des Präparates im ultravioletten Licht ganz anders abgestuft wie im sichtbaren Licht. Dann treten noch weitere Verschiedenheiten auf, die analog sind den Unterschieden zwischen gefärbten und ungefärbten Präparaten.“¹⁾

Seinen Untersuchungen hat Köhler auch mehrere Aufnahmen meist von pflanzlichen Objekten beigegeben, die das oben Gesagte illustrieren.

Die Aufnahmen zeigen auf den ersten Blick für Holz, Kork und Kutikula vollkommene Undurchlässigkeit im ultravioletten Licht. Cyanophyceen zeigen hier sehr deutlich die dem Chromatophor eingelagerten Körner. Da die Absorption der Strahlen um so stärker ist, je kürzer die Wellen der angewandten Strahlen

¹⁾ Köhler, l. c. p. 297.

sind, so absorbieren im weißen Licht noch gut durchlässige Objekte vom ultravioletten Lichte schon mehr und heben sich daher stärker auf der Platte ab. Kleine Unterschiede in der Durchlässigkeit im weißen Licht werden im ultravioletten Licht stärker. Die Anwendung des kurzwelligen Lichtes, wodurch auf den Photogrammen die deutliche Differenzierung von einzelnen Gewebepartien und Zellelementen erzielt wird, kann aber zuweilen auch nachteilig werden insofern, als Elemente, die im weißen Licht noch deutliche Strukturen zeigen, für das Licht von 280 $\mu\mu$ Wellenlänge wegen der stärkeren Absorption dieser Strahlen völlig undurchlässig und strukturlos sind. Dies tritt deutlich hervor, wenn wir die Bilder der mit weißem und ultraviolettem Licht aufgenommenen Endodermiszelle von *Iris germanica*, Tafel I, Figur 3 und 4 vergleichen.

Vor der Erläuterung der einzelnen Photographien will ich auf die Einstellung der Objekte für die Aufnahme noch näher eingehen.

Die Einstellung durch einfache Beobachtung ist nicht möglich, da die durchfallenden ultravioletten Strahlen kein Bild in unserm Auge ergeben. Eine Einstellung auf einer fluoreszierenden, die Mattscheibe der Kamera vertretenden Platte ist wegen der schwachen Helligkeit des Fluoreszenzlichtes auch nicht zu erzielen. Köhler hat daher ein künstliches Auge für die Strahlen in dem sogenannten Sucher konstruiert, der aus einer Linsenkombination aus Quarz, die das abbildende System des Auges vertritt, und aus einer fluoreszierenden Platte, die die Netzhaut vorstellt, besteht. Dieses künstliche Auge wird über das Okular gebracht und das Bild, das auf der fluoreszierenden Platte zustande kommt, beobachtet.

Das Bild, das durch die Fluoreszenz des vom ultravioletten Licht getroffenen Objektes hervorgebracht wird, wird durch eine Vorrichtung in dem Sucher abgeblendet, so daß nur das vom durchfallenden ultravioletten Licht entstandene Bild auf der Platte zu sehen ist. Dieses Bild zeigt aber ein gewisses Korn, weil das erregende Licht stets eine endliche, wenn auch nur kleine Strecke in die Platte eindringt, ehe es vollständig absorbiert wird. Das Bild auf der Uranglasplatte zeigt also keine große Klarheit, reicht aber aus zur Orientierung über die Durchlässigkeit gröberer Gewebeteile. Jedoch hat Köhler noch ein geeigneteres Verfahren angegeben.¹⁾

Die Einstellung wird darnach mit monochromatischem Licht vorgenommen. Das Präparat wird mit Natriumlicht zur Einstellung beleuchtet. Das Licht wird von einem Bunsenbrenner geliefert, der zwischen Mikroskop und Beleuchtungsapparat steht, und in dessen Flamme ein mit geschmolzenem Natriumsalz getränkter Bimsstreifen hineinragt. Der Wechsel zwischen Beleuchtung mit Natrium- und ultraviolettem Licht vollzieht sich so sehr rasch und bequem. Obgleich das Auflösungsvermögen der Objektive bei

¹⁾ Köhler, Swingles Einstellungsverfahren für die Mikrophotographie mit u.-v. Licht. (Zeitschr. f. wissensch. Mikroskopie u. Technik. Bd. 24. Heft 4. p. 363.)

der Beleuchtung mit Natriumlicht verhältnismäßig sehr gering ist, so erlaubt doch diese Methode eine genauere Einstellung als die mit dem Sucher. Die Fokusdifferenz wird dann durch Verstellen der mit einer Teilung versehenen Mikrometerschraube ausgeglichen, indem der Betrag, um den die Einstellung geändert werden muß, an einem geeigneten Objekt mit dem Sucher bestimmt wird. Dieser Betrag ist für die drei Objektive und für Beobachter von verschiedener Sehweite verschieden.

Die Einstellung mit sichtbarem Licht wird nun aber unbedingt notwendig bei der Aufnahme, wenn es sich um lebende Organismen handelt. Viele der mikroskopischen lebenden Objekte sind so empfindlich, daß sie eine Beleuchtung mit ultraviolettem Licht für die Einstellung selbst auf wenige Sekunden nicht ohne Schädigung und Vernichtung ihrer Form und Organisation ertragen können. Treten doch in ganz jungen *Tradescantia*-Zellen schon nach 30 Sekunden Bestrahlung Vakuolen auf. Zur scharfen Einstellung mit dem nicht gerade hellen Fluoreszenzbilde würde man aber doch immerhin längere Zeit benötigen.

Auch die Reizung der Objekte durch die ultravioletten Strahlen bei der Aufnahme selbst ist auf ein möglichst geringes Maß zu beschränken. Und doch kommt es häufig vor, daß bewegliche Objekte, wie Oscillarien, Schwärmsporen u. s. w., auch wenn sie vorher in Ruhe gelegen haben, während der Exposition durch die Reizung der Strahlen ihre Lage verändern und die Aufnahme mißglücken lassen. Um diese Objekte möglichst in Ruhe zu halten, wird das Wasser unter dem Deckplättchen soweit abgesaugt, daß es fest aufliegt. Das wenige Wasser verdunstet aber wiederum sehr schnell, was noch durch die beim Einstellen von der nahen Bunsenflamme ausgestrahlte Wärme befördert wird. Um das zu verhindern, umgab ich den Rand des Deckgläschens mit Vaseline. Die Fäden von *Spirogyra* legte ich fest, indem ich sie möglichst straff zog und außerhalb der Deckgläser mit Vaseline befestigte. Besonders für das Objektiv III 1,7 mm, n. A. 1,25 ist das Festlegen der Objekte nötig, da es eine sehr kurze Brennweite besitzt, so daß beim Senken des Tubus für die Einstellung mit dem ultravioletten Licht nach der mit Natriumlicht, die Frontlinse dem Deckgläschen meist dicht anliegt und einen Druck auf dasselbe ausübt. Der geringe Druck kann aber leicht das Objekt aus der Mitte des kleinen Gesichtsfeldes dieses Objektivs herausbringen. Dies ist um so unangenehmer, als bei lebenden Objekten doch nach dem Einstellen mit Natriumlicht eine Kontrolle mit dem Sucher nicht mehr vorgenommen werden darf. Bei nicht so empfindlichen oder toten Objekten ist dagegen mit dem Sucher noch kurz vor der Aufnahme die Einstellung, genügende Abblendung und Zentrierung der Strahlen zu prüfen. Für den Beleuchtungsfunken bei den Aufnahmen wählte ich eine Stromstärke von 2,6 Amp. im primären Stromkreis.

Im folgenden wollen wir auf die Ergebnisse der Untersuchungen eingehen und zunächst die Durchlässigkeit der pflanzlichen Gewebe für das Licht von $280\ \mu\mu$ Wellenlänge näher betrachten.

Querschnitte durch den Stamm von *Quercus sessiliflora* und *Pinus silvestris* zeigen im ultravioletten Licht die Mittellamellen aller Zellen als dunkle, undurchlässige Linien. Die Wandverdickungen, die für weißes Licht völlig durchlässig sind, erscheinen dunkler im Licht der Magnesiumlinie. Die inneren Grenzhäutchen der Zellen absorbieren dann das kurzwellige Licht wieder fast vollständig. Auch die Markstrahlen zeigen in diesem Licht ihre Mittellamellen als feine dunkle Linie.

Auf den Querschnitt durch einen Zentralzylinder aus der Wurzel von *Iris germanica* kommt die strahlige Anordnung des Leptoms und Hadroms im ultravioletten Bilde gut zum Ausdruck (Fig. 1, Taf. I). Alle Elemente der Endodermis sind viel undurchlässiger als die benachbarten Teile. Rindenparenchym, Phloem und Perikambium lassen dagegen das ultraviolette Licht sehr gut durch. Die äußeren und radiären Wände der Durchlaßzellen sind wie die Zellwände der andern Endodermiszellen undurchlässig. Ihre innere tangentielle Wand absorbiert aber das Licht nicht so stark. Im weißen Licht zeigen sich diese erheblichen Unterschiede auf dem Querschnittsbilde nicht (Fig. 2, Taf. I). Die Lamellierung in den starken Wandverdickungen einer Endodermiszelle des vorigen Präparats erscheint im weißen Licht (Fig. 4, Taf. I) viel deutlicher als im ultravioletten Licht (Fig. 3, Taf. I). In der Nähe der Mittellamelle ist hier die Wandverdickung vollkommen undurchlässig, während im weißen Licht die Lamellierung bis dicht an die Mittellamelle zu sehen ist. Im ultravioletten Licht tritt die innere Grenzhaute der Endodermiszellen deutlich hervor, und die Außenwände der Endodermis sind gegen die benachbarten durchlässigen Gewebe scharf abgegrenzt. Im weißen Licht sind die Wände aller Gewebeteile gleichmäßig durchlässig.

Auch auf dem Bilde eines Querschnitts durch einen jungen Zweig von *Plectranthus* bemerken wir eine sehr deutliche Differenzierung der verschiedenen Gewebe im ultravioletten Licht (Fig. 5, Taf. I). Die Epidermisschichten, Auswüchse derselben und auch die anstoßenden Korkschichten sind sehr undurchlässig. Die jüngeren Korkschichten, Phellogen, Collenchym und Parenchym lassen dann das Licht verhältnismäßig gut durch, ebenso wie Phloem und Kambium; die Bastgruppen und der Holzteil absorbieren das Licht wieder sehr stark. Im weißen Licht ist der Gegensatz in der Durchlässigkeit der älteren und jüngeren Korkschichten nicht so stark, es zeigen sich hier nur die Epidermisschichten sehr undurchlässig. Die Undurchlässigkeit der Bastzellen für das kurzwellige Licht zeigt uns auch das Querschnittsbild einer Bastgruppe aus einem Zweig von *Sambucus nigra* (Fig. 1, Taf. II). Die Abstufung in der Durchlässigkeit einerseits zwischen Mittellamellen und Wandverdickungen, andererseits zwischen Bastzellen und den benachbarten Geweben ist gut zu erkennen.

Querschnitte durch das Kollenchym von *Sambucus* und *Impatiens parviflora* lassen die Lamellen der Kollenchymzellwände und die inneren Grenzhäutchen viel deutlicher als im weißen Licht erkennen.

Die abgezogene Epidermis z. B. eines *Ficus*-Blattes und ebenso die Kutikula auf dünnen Querschnitten von *Ficus*-Blättern und dem Stengel von *Impatiens* erweisen sich als fast völlig undurchlässig für die Strahlen von 280 $\mu\mu$ Wellenlänge. Strahlen mit nicht viel größerer Wellenlänge dürften bei ihrer Absorption durch die pflanzlichen Gewebe dieselben Verhältnisse zeigen. Der Teil dieser Strahlen des Sonnenlichts, der von ihnen auf die Erde gelangt, dringt aber, wie wir sehen, in Pflanzenteile mit starker Kutikula oder Korkschicht nicht ein. Ich glaube demnach, daß wir in diesen Hautschichten ein wirksames Schutzmittel der Pflanzen gegen die schädigenden ultravioletten Strahlen des Sonnenlichts zu sehen haben. Besonders bei den tropischen Pflanzen, die sehr hellem Sonnenlicht ausgesetzt sind, finden sich stark entwickelte Kutikulae oder stark verdickte kutinisierte Epidermiswände häufig. Natürlich ist dabei nicht vergessen, daß diese Hautschichten auch noch anderen biologischen Zwecken dienen, eine im Pflanzenreich nicht seltene Erscheinung. Auch Wiesner hebt unter den zahlreichen, höchst mannigfaltigen Einrichtungen der Pflanzen zum Schutz des Chlorophylls gegen intensives Licht die schützende Wirkung des Oberhautgewebes hervor.¹⁾ Sie besteht nach ihm besonders darin, daß die kutinisierte Oberhaut das Licht reichlich reflektiert. Er erinnert daran, daß die ausdauernden Blätter der wintergrünen Nadel- und Laubbäume, die mehrere Vegetationsperioden hindurch dem Licht ausgesetzt sind, mit einer stark glänzenden Oberhaut versehen sind. Außerdem wirkt nun die Kutikula, nach den Photogrammen zu urteilen, wie ein Lichtfilter, das die langwelligen Strahlen leicht passieren läßt, die ultravioletten aber zurückhält. Wenn wir nun daran denken, daß, wie aus Pringsheims Arbeit hervorgeht, das intensive weiße Licht besonders den Chlorophyllfarbstoff angreift, die ultravioletten Strahlen aber, wie meine Versuche ergeben, vor allem die protoplasmatische Substanz, so bin ich zu der Auffassung geneigt, daß die Abschwächung der Lichtintensität durch Reflexion an der Oberhaut dem Schutz des Chlorophylls dient, daß aber in der Elimination der ultravioletten Strahlen durch Absorption hauptsächlich eine Schutz-einrichtung für das Plasma zu sehen ist.

Im folgenden wollen wir nun die Durchlässigkeit einzelner lebenden Pflanzenzellen und ihrer Zellelemente betrachten.

Zur Photographie des Kerns mit ultraviolettem Licht wählte ich junge Zellen der Filamenthaare von *Tradescantia virg.* Bei allen Aufnahmen fällt uns zunächst die starke Undurchlässigkeit der Kernsubstanz für das ultraviolette Licht ins Auge. Dieselbe wird in allen Teilungsstadien beibehalten. Im Netzstadium läßt das mit ultraviolettem Licht aufgenommene Bild zahlreiche dunklere Stellen im Kern unterscheiden. In einem weiteren Stadium sehen wir dann in der Mitte des Kerns längliche undurchlässige Streifen, Stücke des Kernfadens, die im optischen Querschnitt von einem

¹⁾ Wiesner, Festschrift zur Feier des 25jährigen Bestehens der zool. bot. Gesellschaft. Wien 1876. p. 40—42.

perlschnurartigen Faden umgeben sind (Fig. 6, Taf. I). Derselbe zeigt abwechselnd breite dunklere und schmale hellere Stellen. Auch die einzelnen Chromosomen erweisen sich gleich den ruhenden Kernen als sehr undurchlässig. Nach Trennung der Tochterkerne zeigt sich von einem Kern zum anderen ziehend eine dunklere Plasmamasse, die häufig zwischen den Kernen eingeschnürt erscheint (Fig. 7, Taf. I). Němec hat derartige bipolare homogene Plasmaansammlungen um die Kerne in den Wurzelspitzen von *Vicia Faba*-Keimlingen beobachtet¹⁾. Die längere Achse dieser hyalinen Periplaste, sagt er, stimmt immer mit der Achse der Kernteilungsfigur überein²⁾. Dieselben unterscheiden sich auch bei der Anwendung des Flemmingschen Dreifärbungsverfahrens von dem umgebenden Trophoplasma³⁾.

Die dichten Plasmamassen, die sich nun zwischen den Kernen gesammelt haben, sind verhältnismäßig sehr undurchlässig für das Licht von 280 $\mu\mu$, während sie im weißen Licht nicht besonders hervortreten (Fig. 8, Taf. II). Die neugebildete Quermembran erscheint dann im ultravioletten Licht als feine dunkle Linie (Fig. 2, Taf. II). Auf diesem Bilde zeigen einige Chromosomen des oberen Kerns deutlich eine hellere Mittellinie.

Das Bild eines Kerns im Asterstadium, das Köhler in seiner schon erwähnten Abhandlung in Figur 6 darstellt, zeigt uns die vollkommene Undurchlässigkeit der Kernsubstanz für das ultraviolette Licht am fixierten Material, während auch dort das Plasma viel durchlässiger ist. Wir finden also denselben Unterschied wieder wie bei den eben besprochenen Aufnahmen von lebenden *Tradescantia*-Haarzellen.

Der Umstand, daß bei der Beobachtung im weißen Licht die Chromosomen dieser Haarzellen nicht sehr scharf und deutlich hervortreten und während des Teilungsprozesses ihre Form häufig zu ändern scheinen, veranlaßte A. Fischer zu der Annahme, daß sie in der lebenden Zelle garnicht die festen Körperchen sind, als die sie uns nach der Fixierung erscheinen⁴⁾. Die Aufnahmen mit ultraviolettem Licht zeigen aber, daß die lebenden Chromosomen der *Tradescantia*-Zellen von viel konsistenterer Beschaffenheit sind als das umgebende Plasma und lebend auch dieselbe Form haben, die wir im fixierten Zustande an ihnen beobachten können.

Zur Untersuchung der Chlorophyllkörper wählte ich *Spirogyra*- und Farnprothallien.

Zellen von Farnprothallien zeigen bei schwacher Vergrößerung im ultravioletten Licht ungefähr dasselbe Bild wie im weißen Licht. Die Stärkekörner treten im ersteren Fall aber deutlicher hervor, und außerdem sind manche Chlorophyllkörner von einem verhältnismäßig breiten Rand umgeben. In dem stark vergrößerten Bilde Fig. 3,

¹⁾ Němec, Physiologie der Kern- und Zellteilung. -(Bot. Zentralblatt. 77. p. 244.)

²⁾ Němec, l. c. p. 246.

³⁾ Strasburger, Über Reduktionsteilung, Spindelbildung, Centrosomen und Zilienbildner im Pflanzenreich. p. 114.

⁴⁾ Fischer, A., Protoplasma. p. 69.

Taf. II ist derselbe bei fast allen Chlorophyllkörnern deutlich zu erkennen und erscheint zuweilen gekammert, ein Strukturgebilde, das bisher völlig unbekannt war.

Eine Aufnahme einer *Spirogyra*-Zelle im Licht von $280 \mu\mu$ Wellenlänge zeigt die Bänder in der Mitte gut durchlässig. Die Auszackungen sind ein wenig dunkler. Die Pyrenoide heben sich auf den Bändern sehr gut ab. Stark vergrößert zeigen die Bilder der Pyrenoide im ultravioletten Licht eine dunkle Umrißlinie. Durch unregelmäßig verlaufende dunkle Streifen erscheinen sie im optischen Querschnitt in mehrere hellere Fächer geteilt.

Aufnahmen von Stärkekörnern der Kartoffel mit ultraviolettem Licht zeigen außer der konzentrischen Schichtung eine vom Kern ausgehende radiäre Streifung (Fig. 4, Taf. II). Dieselbe ist bei fast allen Aufnahmen wahrzunehmen, doch ist sie stets nur sehr schwach. In der Nähe der Längsachse ist sie am stärksten. Die einzelnen Streifen schneiden die konzentrischen Schichten senkrecht als orthogonale Trajektoren.

An in heißem Wasser gequollenen Stärkekörnern von Arrow-root konnte Bütschli ebenfalls radiäre Streifung beobachten. Dieselbe geht aber nicht durch mehrere Schichten hindurch, sondern die Radiärbälkchen der aufeinander folgenden Schichten alternieren¹⁾.

Die physiologische Wirkung der Strahlen von $280 \mu\mu$ Wellenlänge.

Eine jede Pflanze wird durch zu hohe Lichtintensität benachteiligt und bei weiterer Steigerung derselben getötet. Nach den eingehenden Untersuchungen Pringsheims über die Wirkung intensiven Lichts auf Pflanzenzellen wirken die stärker brechbaren Strahlen des Sonnenlichts am intensivsten; dagegen ist die schädigende Wirkung der rot-gelben Spektralhälfte auf die Pflanzenzelle bedeutend geringer. Aus Hertels Arbeiten geht nun hervor, daß die physiologische Wirksamkeit von strahlender Energie auf Organismen vor allen Dingen von dem Absorptionsvermögen der Organismen für diese Strahlen abhängig ist.²⁾ Früher hatte sich die Vorstellung entwickelt, sagt Ostwald, daß die kurzwelligen Strahlen die eigentlich „chemischen“ seien, weil die auffallendsten Wirkungen des Lichts an solchen Stoffen beobachtet worden sind, deren chemisches Absorptionsgebiet im Blau, Violett und darüber hinaus liegt. Die späteren Forschungen haben gezeigt, daß chemische Wirkungen von allen Strahlen des sichtbaren und unsichtbaren Spektrums ausgeübt werden können, und daß es nur von der Natur der Stoffe abhängt, welche Strahlen als chemisch wirksam zur Geltung kommen. Vorwiegend unter den gefärbten Stoffen haben wir die für die sichtbaren Strahlen empfindlichen zu suchen.³⁾

¹⁾ Bütschli, Über den feineren Bau der Stärkekörner. (Verhandlungen des naturf. med. Vereins zu Heidelberg. N. F. Bd. V. Heft 1. p. 88.)

²⁾ Hertel, Über die physiol. Wirkung v. Strahlen versch. Wellenlänge. (Zeitschrift f. allg. Physiologie. Bd. 5. 1905. p. 108.)

³⁾ Ostwald, Allgemeine Chemie. p. 498.

Hertel stellte auch fest, daß die Absorption der strahlenden Energie durch lebendes Gewebe mit der Zunahme der Wellenlänge der verwendeten Strahlen abnimmt.¹⁾ Seine Versuche zeigen dann auch eine starke Steigerung der schädigenden Wirkung für Licht der Magnesiumlinie von 280 $\mu\mu$ gegenüber dem sichtbaren Licht.

Bei den nun folgenden Untersuchungen über die Wirkung der Strahlen von 280 $\mu\mu$ Wellenlänge auf die Pflanzenzelle wollen wir uns zunächst mit der Beeinflussung der Protoplasmaströmung durch diese Strahlen beschäftigen.

Die Plasmaströmung in den Zellen der Staubfadenhaare von *Tradescantia virginica*.

Die Plasmaströmung ist wie die anderen Lebensfunktionen des Plasma von den Außenbedingungen abhängig. Es ist bekannt, daß durch hohe und niedere Temperatur, Veränderung des Wassergehalts, O-Entziehung, Einwirkung von Gasen und Chemikalien Störungen in der Plasmabewegung hervorgerufen werden. Auch das Licht übt auf die Plasmaströmung einen gewissen Einfluß aus. Die Reizwirkung des Lichts kann in einer Verzögerung, oder bei manchen Objekten auch in einer Hervorrufung der Bewegungen des Plasmas bestehen. Durch längere Verdunklung wird die Plasmaströmung nicht sistiert, das Licht ist also nicht notwendig, um eine schon vorhandene Strömung zu erhalten. Nach den Untersuchungen Jösings sind die Lichtstrahlen aber noch insofern von Bedeutung für die Plasmaströmung, als die stärker brechbaren Strahlen des weißen Lichts bei ätherisierten Objekten die Erhaltung der Strömung verursachen.²⁾ Eine schädigende Wirkung besonders der roten Strahlen des Sonnenlichts hatten Borskow und Luerßen erzielt.³⁾ Pfeffer aber macht in Bezug auf diese Angaben darauf aufmerksam, daß die Schädigung sich hier wohl durch die ansehnlichere Wärmewirkung der schwächer brechbaren Spektralhälfte erklärt.⁴⁾ Dem konzentrierten Sonnenlicht ist, wie Pringsheims Versuche lehren, eine sehr schädigende und tödliche Wirkung auf das Protoplasma der Pflanzenzellen zuzusprechen, und zwar geht diese im wesentlichen von den stärker brechbaren Strahlen aus. Die Plasmaströmung bei *Nitella*, *Spirogyra* und *Tradescantia* hat er in wenigen Minuten durch das konz. blaue Licht sistieren können. Die Röntgenstrahlen üben, wie Seckt anführt, einen entschieden förderlichen Einfluß auf die Plasmaströmung aus.⁵⁾ Zu dem gleichen Ergebnis war auch Lopriore schon vorher gekommen.⁶⁾

¹⁾ Hertel, l. c. p. 111.

²⁾ Jösing, Die Abhängigkeit der Protoplasmaströmung vom Licht. (Jahrb. f. wissensch. Botanik. Bd. 36. p. 209.)

³⁾ Luerßen, Inauguraldissertation. Bremen 1868. — Borsko, Bot. Zeitung. 1868. p. 636.)

⁴⁾ Pfeffer, II. 779.

⁵⁾ Seckt, Über den Einfluß der X-Strahlen auf den pflanzlichen Organismus. (Bericht der deutsch-botanischen Gesellschaft. 20. p. 90.)

⁶⁾ Cit. n. Seckt, p. 90.

Für das ultraviolette Licht von $280 \mu\mu$ Wellenlänge beobachtete Hertel, wie schon oben bemerkt, eine deutliche Verlangsamung der Plasmaströmung in den Blattzellen von *Elodea canadensis*. „In den Randpartien des bestrahlten Blättchens hörte die Bewegung zuerst auf. Je näher die Zellen der Mittelrippe lagen, desto später trat die Wirkung auf. Unterbrach er den Strom sofort nach Eintritt des Stillstandes, so konnte er ganz gut nach einiger Zeit den Wiederbeginn der Strömung konstatieren. Ließ er den Strom länger einwirken, so hat er niemals in den bestrahlten Zellen wieder deutliche Strömung gesehen.“¹⁾

Zur Untersuchung wählte ich zuerst die Staubfadenhaare von *Tradescantia virginica*. Die Filamente wurden von den Antheren befreit, auf dem Quarzobjektträger in einen Tropfen Wasser gebracht und dann exponiert. Auf dem Objektträger bleibt die Plasmaströmung in den Haarzellen unter normalen konstanten Verhältnissen über 24 Stunden erhalten. Das ultraviolette Licht von $280 \mu\mu$ Wellenlänge übt nun einen entschieden hemmenden Einfluß auf die Bewegung des Protoplasmas aus. Wegen der kurzen Wellenlänge des Lichts wird ein großer Teil der auffallenden Strahlen durch die untere Zellwand und die Plasmaschichten, die zuerst getroffen werden, absorbiert, und besonders in den älteren Zellen mit stärkerem Querdurchmesser werden dadurch die oberen Plasmamassen der Zelle durch die unteren ein wenig geschützt. Auch die Kutikula der älteren größeren Zellen ist stärker als in den jüngeren und läßt somit das ultraviolette Licht weniger hindurch. Daher tritt bei den großen Haarzellen die Wirkung später ein als bei den zartwandigen kleinen Zellen. Um nun für verschiedene Größe der Haarzellen die Sistierungszeiten festzustellen, teilte ich die Filamenthaare in fünf Altersstufen ein. Die Haare der ersten Stufe sind den ganz jungen Knospen entnommen, die der fünften der eben aufbrechenden Knospe. Die Filamenthaare verschiedenen Alters sind aber auch sonst leicht zu unterscheiden.

Altersstufe I. An den Spitzen der Haare ist häufig noch Zellteilung zu beobachten. An den Quermembranen der Zellen noch keine Einschnürung.

II. Zellen an den Quermembranen eingeschnürt, rundlich. Länge der Zellen in der Mitte der Haare $80-100 \mu$.

III. Filamenthaare und Blumenblätter rein weiß. Zellenlänge in der Mitte der Haare 150μ .

IV. Filamenthaare weiß. Blumenblätter zeigen schwach violetten Ton. Zellenlänge $200-250 \mu$.

V. Knospe sich eben öffnend. Haare blau-violett. Zellenlänge 250μ .

Zur Bestrahlung wurden nur Zellen aus der Mitte der Haare gewählt zum bessern Vergleich der Widerstandsfähigkeit der verschieden alten Haarzellen; auch würden die sehr langen Grundzellen der Haare 5 nicht mehr mit allen Teilen im Brennpunkt

¹⁾ Hertel, l. c. p. 17.

der Strahlen liegen, und so würde nur ein Teil der Zelle besonders geschädigt werden.

Bestrahlungen, die Sistierung der Plasmaströmung bewirken, verändern auch zugleich die Plasmastruktur in der Zelle. Doch wollen wir von den Desorganisationserscheinungen zunächst absehen. Die Bestrahlung wurde abgebrochen, sobald mit Zeiß F keine regelmäßige Vorwärtsbewegung, sondern nur Hin- und Hertzangen der Körnchen beobachtet wurde.

In folgender Tabelle sind für die Haarzellen von *Tradescantia virginica* die Sistierungszeiten bei einigen Intensitäten zusammengestellt. Links stehen die Anzahl der Ampère im primären Strom angegeben, die römischen Ziffern zeigen die Altersstufe, die arabischen Ziffern die Sistierungszeiten an.

	I	II	III	IV	V
2,5 Amp.	30''	1'	1'	2'	2 ¹ / ₂ '
2,1 "	1'	2'	2 ¹ / ₂ '	3 ¹ / ₂ '	4 ¹ / ₄ '
1,7 "	1 ¹ / ₂ '	2 ¹ / ₂ '	4'	6 ³ / ₄ '	8'
1,6 "	2'	3 ¹ / ₂ '	5 ¹ / ₂ '	7 ¹ / ₄ '	10'
1,5 "	2 ¹ / ₂ '	4'	6 ¹ / ₄ '	9'	13'

Aus dieser Tabelle geht deutlich hervor, daß das ultraviolette Licht außerordentlich schnell schädigend auf das Plasma der Haarzellen einwirkt. Auch die gefärbten blauen Zellen V werden leicht von den Strahlen geschädigt, und sie zeigen sich gegenüber den weißen Zellen nicht widerstandsfähiger als ihrem Alter entspricht. Als Schutzmittel gegen die ultravioletten Strahlen kommt die Farbe hier also nicht in Betracht.

Wählte ich gleichgroße weiße und blaue Haarzellen zur Bestrahlung, so zeigten die Sistierungszeiten fast keine Unterschiede. Bei Anwendung schwächerer Intensitäten wird die Wirkung der Strahlen auf die Haarzellen sehr schnell bedeutend schwächer. Selbst nach 60 Minuten macht sich in der Plasmaströmung der Zellen V bei einer Bestrahlung mit 2,1 Amp. diffus keine Störung geltend, während die jungen Zellen I dadurch schon in 15 Minuten wieder merklich geschädigt werden. Eine Wiederaufnahme der Plasmaströmung habe ich, auch wenn die Bestrahlung sofort nach der Sistierung abgebrochen wurde, niemals beobachtet. Schon vor der Sistierung der Strömung treten unter der Strahlenwirkung Formveränderungen des beweglichen Protoplasmas auf, die dann schnell so erheblich werden, daß die Zellen nach der Bestrahlung, die den Stillstand der Bewegung herbeiführte, auch sehr bald zu Grunde gehen.

Unter dem Einfluß der Strahlen spannen sich die Plasmastränge zunächst straff und werden dünner. Die auf den schwächeren Strängen sich bewegenden Körner werden von dem Plasma fest umspannt, so daß die Stränge wie bewegliche Perlenketten erscheinen. Breitere Stränge, auf denen zwei entgegengesetzte Strömungsrichtungen nebeneinander zu erkennen sind, gehen in zwei

dünne, nebeneinanderliegende Plasmastränge auseinander. Beim Auseinandergehen der Stränge spannt sich an manchen Stellen das Plasma als breites Band von einem Strang zum andern. An vielen Stellen der Stränge bilden sich knotige Plasmaanschwellungen, während die Stränge zwischen den Plasmaknoten immer dünner werden. Besonders auf den breiteren Strängen werden verhältnismäßig große Massen des Plasmas zusammengedrängt, die sich in Spindelform zunächst sehr langsam auf dem gespannten viel dünneren Strang vorwärtsschieben. Schließlich nehmen sie ganz regelmäßige Kugelform an und bewegen sich nun äußerst langsam, meist ruckweise auf dem dünnen Strang als weiße körnige Scheibe fort, wobei die schneller strömenden kleinen Plasmakörnchen über sie hinweggleiten. Zuweilen gleiten sie auch an dem Strang entlang und werden dann durch die Bewegung der noch auf dem Strang strömenden Massen in Drehung versetzt, so daß sie an ihm wie an einer Tangente entlang zu rollen scheinen. Dann zerreißen die Stränge an den dünnsten Stellen; die Plasmaknoten, Kugeln und feinkörnigen Massen verschmelzen zum Teil mit dem protoplasmatischen Wandbelag, zum Teil fluten sie dem Kern zu, der nun von fein- und grobkörnigen Plasmamassen dicht umlagert ist. Wenn einige der zum Kern führenden Stränge zerfallen sind, wird er von den noch bestehenden meist sofort an die Wand gezogen. Nachdem das Plasmanetz nun zerfallen, sich in den Wandbeleg oder an den Kern zurückgezogen hat, ist natürlich auch die Strömung erloschen. Die Bildung der Plasmaknoten tritt auf den schwächsten Strängen zuerst ein. Dieselben sind aber dort nur klein gegenüber den Plasmaansammlungen auf den breiteren Strängen. Diese zerfallen auch meist etwas später als die schwächeren Stränge.

In den jungen Haarzellen treten bei den in der Tabelle angegebenen Intensitäten fast sofort größere Vakuolen auf. Die Strömung hält noch einige Zeit nach deren Bildung an, die Stränge zerreißen und das ganze Zellplasma legt sich als sehr dicke, doppelt konturierte Plasmaschicht an die Wände der Zellen an. Der Kern wird in den Wandbeleg mit zurückgezogen und so fest an die Wand gepreßt, daß er in dem dichten Wandbeleg kaum noch zu sehen ist. Bleibt er aber in der Mitte der Zelle liegen, so bildet sich vor und hinter ihm je eine große Vakuole, die in ihrer dichten Grenzhüllschicht die gröberen Körnchen der Zelle eingelagert enthält. Innerhalb der Vakuolen liegen oft eine oder mehrere regelmäßige Plasmakugeln, die sich bei der Kontraktion auf den Strängen gebildet haben und nicht mit in den Wandbeleg gezogen worden sind. In wie kurzer Zeit die Strahlen diese Erscheinungen hervorbringen, ist aus der Tabelle zu ersehen.

Um nun eine Fortsetzung der Plasmaströmung nach der Bestrahlung zu ermöglichen, dürfen wir nicht bis zur Sistierung bestrahlen. Bei den jungen Zellen z. B. bleibt die Strömung nur erhalten, wenn wir sogleich bei Bildung der Vakuolen die Bestrahlung abbrechen. Es zeigt sich dann schon eine erhebliche Schädigung, die aber nach einiger Zeit überwunden wird. So

treten bei den Zellen I nach 20 Sekunden Bestrahlung mit 2,4 Amp. die Vakuolen auf und die Strömung ist noch vereinzelt eine ruckweise. Erst nach 20 Minuten ist dann die Verteilung und Strömung des Plasmas wieder regelmäßig. Bei den Zellen V führt die Bestrahlung nicht den Tod der Zelle herbei, wenn sie unterbrochen wird, sobald sich die ersten kugeligen Anschwellungen auf den Strängen zeigen. Die Plasmakugeln werden dann von den noch strömenden Plasmamassen mit fortgerissen, in den Wandbeleg geführt und verlieren ihre Form. Die Strömung ist aber noch geraume Zeit äußerst langsam und unregelmäßig. Doch schwankt die Zeit, in der die regelmäßige Strömung wieder aufgenommen wird, ungefähr zwischen 15—60 Minuten. Das liegt wohl besonders daran, daß die Bestrahlung nicht immer bei genau gleichem Schädigungsgrad des Protoplasmas abgebrochen wurde. Als Beispiel will ich einen Versuch mit einer Zelle V angeben.

Beleuchtung des Gesichtsfeldes durch die seitlich vom Beleuchtungsapparat stehende Glühlampe. Strömungsgeschwindigkeit vor der Bestrahlung: 50μ in 19 Sek. Bestrahlung mit 1,7 Amp. im Primärstrom.

Strömungsgeschwindigkeit

	nach der ersten	Minute	50μ	in	20 Sek.
	zweiten	„	50	„	20 „
	dritten	„	50	„	20 „
	vierten	„	50	„	20 „
	fünften	„	50	„	35 „
	sechsten	„	50	„	45 „

Nach $6\frac{1}{2}$ Min. Bestrahlung abgebrochen. Plasmakugeln zahlreich. Nach 30 Minuten ist die Strömung wieder allgemein und besitzt die frühere Geschwindigkeit.

Aus dem Protokoll ersehen wir auch, daß die Schädigung durch die Bestrahlung erst nach einiger Zeit der Einwirkung erheblicher wird, dann führt sie allerdings schnell, wenn weiter bestrahlt wird, zur Vernichtung der Zelle.

Ließ ich die Strahlen auf die Filamenthaare einer offenen Blüte fallen, so zeigten bei folgender mikroskopischer Untersuchung die getroffenen Haarzellen dieselben Zerstörungserscheinungen wie die auf dem Objektträger bestrahlten, in Wasser liegenden Zellen.

Ähnliche Formveränderungen, wie sie das bewegliche Protoplasma nach der Bestrahlung mit ultraviolettem Licht zeigt, treten auch, wie Hofmeister angibt¹⁾, nach der Einwirkung nachteiliger Temperaturen, schädlicher Substanzen, mechanischer Eingriffe und elektrischer Schläge auf. Das Bestreben zur Kugelbildung zeigt alles gereizte Protoplasma sowohl als Ganzes als auch in seinen einzelnen Teilen²⁾.

Das Plasma einer Staubfadenhaarzelle von *Tradescantia virg.*,

¹⁾ Hofmeister, Lehre von der Pflanzenzelle. p. 67.

²⁾ Verworn, Allgemeine Physiologie. p. 414.

das durch den Induktionsschlag¹⁾ oder hohe Temperatur²⁾ gereizt ist, zeigt uns zwar im allgemeinen ein ähnliches Bild, wie wir es nach der Reizung durch das Licht von 280 $\mu\mu$ Wellenlänge beobachten können. Doch haben nach der Einwirkung des Lichts die Plasmaballungen fast alle regelmäßige Kugelform, während auf oben erwähnter Abbildung, die uns die Einwirkung des Induktionsstroms und hoher Temperatur zeigt, meist unregelmäßige Plasmaklumpen und nur vereinzelt regelmäßige Plasmakugeln zu sehen sind.

Die Plasmaströmung in den Wurzelhaaren von *Hydrocharis morsus ranae*.

In den kurzen Wurzelhaaren von ca. 300 μ Länge, die über den Brennpunkt der Strahlen nicht hinausragen, kommt die Strömung schneller zum Stillstand als in den etwa gleich langen Haarzellen von *Tradescantia virgin.* Bei 2,4 Amp. im primären Strom ist die Strömung schon nach 1' sistiert, bei 2,1 Amp. in 1 $\frac{1}{2}$ ' und bei 1,7 Amp. in 2'.

Die ausgewachsenen Haarzellen sind ca. 4—5 mm lang. Lag nun das Ende derselben (also ca. 300 μ) im Brennpunkt der Strahlen, so war zu vermuten, daß die Strahlen viel weniger auf die Strömung des Plasmas einwirken würden und zwar um so weniger, je länger die Zellen und je geschwinder die Strömung war. Doch auch hier trat in ganz kurzer Zeit an der bestrahlten Stelle Stillstand ein, bei 2,7 Amp. im primären Strom nach einer Bestrahlung von 1 $\frac{3}{4}$ ', bei 2,1 Amp. nach 3', bei 1,7 Amp. nach 5 $\frac{1}{2}$ '. In dem bestrahlten Teil der langen Wurzelhaare häufen sich bald nach Beginn der Bestrahlung dichte Plasmamassen an, die das ganze untere Ende des Haares schließlich erfüllen. Wir bemerken auch, daß der durch das Bestrahlungsfeld gekommene und nun wieder nach der Wurzel gerichtete Strom viel langsamer fließt, als der dem Ende zuströmende. Das strömende Plasma wird also schon in der kurzen Zeit, während es durch das bestrahlte Ende fließt, sehr stark geschädigt; einige Plasmateile werden dort festgehalten, stauen sich zu dichten Plasmamassen, und nur ein viel schwächerer und langsamerer Strom fließt vom Ende des Haares zurück. Wird die Bestrahlung nach der Sistierung des Stroms am bestrahlten Ende abgebrochen, so können wir sehen, wie der Strom vor den gestauten Massen umkehrt. Der zum Bestrahlungsfeld führende Strom greift aber bald immer weiter in die gestauten Massen ein und führt die zuletzt angelagerten Plasmateile wieder mit sich fort. Der vom Ende kommende Plasmastrom zeigt wohl deshalb noch lange nach der Bestrahlung eine Verzögerung gegen den nach dem Ende gerichteten. In einem 3 mm langen Haare, dessen Strömungsgeschwindigkeit in der Sekunde 11 μ betrug, zeigte sich am bestrahlten Ende bei 1,7 Amp. im primären Strom nach 5 Minuten Stillstand. Das Ende des Wurzelhaares war weit über das be-

¹⁾ Verworn, l. c. p. 451.

²⁾ Ders., l. c. p. 255.

strahlte Gebiet hinaus mit dichten körnigen Plasmamassen erfüllt. Am Schluß der Bestrahlung war die Geschwindigkeit des zum Ende kommenden Stromes 10μ , des fortführenden 5μ in der Sekunde. 5 Minuten nach der Bestrahlung kommt auch wieder Bewegung in die zuletzt gestauten Massen. Die Geschwindigkeit des Plasmastroms im ganzen Wurzelhaar ist sehr verzögert. 20 Minuten nach der Bestrahlung ist die Geschwindigkeit des zum Ende kommenden Stromes 5μ , die des fortführenden 3μ in der Sekunde. Nach 60 Minuten erst hat sich die Strömungsgeschwindigkeit wieder ausgeglichen und ungefähr die Anfangsgeschwindigkeit angenommen. Bestrahlte ich noch kurze Zeit weiter nach dem Eintritt des Stillstandes, so dauerte es um so länger, bis die Strömung in dem bestrahlten Ende wieder auftrat. Meist wird durch eine Bestrahlung, die nur wenige Minuten nach dem Eintreten der Sistierung abgebrochen wird, die Strömung auch im ganzen Wurzelhaar sistiert. Das Plasma beginnt dann nicht wieder zu strömen. Bei einer Bestrahlung des Wurzelhaarendes mit 2,4 Amp. gelingt es schon nach 5 Minuten, die Strömung im ganzen Haar zu sistieren und den Tod desselben herbeizuführen.

Plasmaströmung bei *Vallisneria spiralis*.

Hertel macht über die Sistierung der Strömung in den Blattzellen von *Elodea canadensis* außer den schon erwähnten noch folgende Angaben: Bei Blättern, die lange im Dunkeln gelegen hatten und die auch bei der Anstellung des Versuchs nur mangelhaft beleuchtet waren, trat die Sistierung der Plasmabewegung deutlich schneller ein, als wenn die Blätter bei heller Beleuchtung während der Bestrahlung untersucht wurden. Die Bewegung wurde durch die Strahlen am langsamsten beeinflusst, wenn die Blätter mit hellem gelben Licht beleuchtet wurden¹⁾. Ebenso erhielt er bei dem chlorophyllhaltigen *Paramecium bursaria* einen deutlichen Unterschied in der Schnelligkeit des Wirkungseintritts, je nachdem sich die Beobachtungsobjekte im Hellen oder Dunkeln befanden²⁾. Das durfte, sagt Hertel, die Annahme rechtfertigen, daß die an die Belichtung der Chlorophyllkörperchen gebundene Assimilation, speziell die Abspaltung von Sauerstoff aus der aufgenommenen Kohlensäure, die schädigende Wirkung der verwendeten ultravioletten Strahlen aushielt³⁾.

Ich konnte bei *Elodea* diese Angaben bestätigen.

Ein sehr günstiges Objekt, die Strömung in chlorophyllhaltigen Zellen zu verfolgen, gaben auch die langen inneren Blattzellen von *Vallisneria spiralis*. Es sind möglichst dunkelgrüne Blätter zu wählen, da nur in ihnen auch die Zellen des Blattinnern reich an Chlorophyllkörnern sind. Um eine einfache Schicht dieser Zellen zu erhalten, zog ich zuerst die Epidermis ab und führte dann über

¹⁾ Hertel, l. c. p. 18.

²⁾ Ders., l. c. p. 32.

³⁾ Ders., l. c. p. 32.

die Stelle einen Flächenschnitt. So sind stets einige der großen Blattzellen zu erhalten, ohne daß ihrer Unter- oder Oberseite Zellteile der Nachbarzellen anhaften, durch die die Bestrahlung und Beobachtung gestört würde. Die erste bemerkbare Veränderung, die die Strahlen hervorrufen, ist die Bildung dicker runder Plasma-klumpen mit angehäuften Chlorophyllkörnern. Mit ihrem Auftreten wird die Strömung bedeutend langsamer. Sie kommen dann sehr bald, hauptsächlich an den Querwänden, zum Stillstand; die einzelnen, nicht zum Klumpen geballten Chlorophyllkörner der Zelle zeigen aber dann noch deutliche Bewegung. Ist jede strömende Bewegung, auch die der einzelnen Chlorophyllkörner, erloschen, so tritt die Strömung in der Zelle selbst, wenn die Bestrahlung sofort nach Eintritt des Stillstandes abgebrochen wurde, nie wieder auf. Die Plasmaströmung wird in den *Vallisneria*-Zellen durch die Bestrahlung bei 2,4 Amp. im primären Strom nach 2'; 2,1 Amp. nach 3'; 1,7 Amp. nach 7'; 1,6 Amp. nach 11' vollständig sistiert. Auch wenn kurz vor völliger Sistierung die Bestrahlung abgebrochen wird, so ist das Plasma so stark geschädigt, daß die Strömung bald aufhört und die Zellen nach einiger Zeit absterben. Im folgenden Versuch wurde die Zelle 6½ Minuten bestrahlt (im prim. Strom, 1,7 Amp.). Vor der Bestrahlung legten die Chlorophyllkörner 50 μ in 9" zurück, um 12 Uhr, am Schluß der Bestrahlung, war ihre Geschwindigkeit 50 μ in 35", um 2 Uhr 50 μ in 48", um 4 Uhr 50 μ in 65" (Bewegung vereinzelt), um 5 Uhr findet keine Strömung mehr statt; in den Nachbarzellen durchströmen die Chlorophyllkörner eine Strecke von 50 μ in 10".

In den Zellen bleibt die Strömung nach der Bestrahlung nur dann erhalten, wenn die Bestrahlung, sobald die Plasmamassen mit den angehäuften Chlorophyllkörnern zum Stillstand kommen, abgebrochen wird. Die Bewegung teilt sich dann auch bald wieder den zu Klumpen zusammengeballten Chlorophyllkörnern mit und wird nach kurzer Zeit wieder allgemein und regelmäßig.

Bei den Versuchen mit heller Beleuchtung und Verdunklung der Zellen wurden die Zellen, die im Dunkeln bestrahlt werden sollten, stets schon 10 Minuten vor der Bestrahlung im Dunkeln gehalten, nachdem sie vorher in das Bestrahlungsfeld gebracht und eingestellt waren. So konnte, ohne das Zimmer zu erleuchten, mit der Bestrahlung begonnen werden.

Ich erhielt als Sistierungswerte

	bei heller Beleuchtg.	im Dunkeln
bei 1,7 Amp. im primären Strom	7'	5'
„ 1,6 „ „ „ „	11'	9'

Schließlich will ich noch hervorheben, daß auch bewimperte, schwärmende Organismen wie z. B. Schwärmsporen von Myxomyceten oder Einzelalgen äußerst leicht durch die Strahlenwirkung zum Stillstand gebracht werden, und zwar viel schneller als z. B. die Strömung des Plasmas in behäuteten Zellen. Bei der Bestrahlung von Diatomeen konnte Hertel schon nach 30" Stillstand

erzielen. Bei grünen Exemplaren sah er den Stillstand bei der gleichen Intensität frühestens nach 60" eintreten¹⁾.

Um das Verhalten der schwärmenden Organismen zu untersuchen wählte ich *Chlamydomonas*. Bei den Versuchen befanden sich die Algen in einem Wassertropfen, der am oberen Glasboden einer feuchten Kammer ausgebreitet war. Unten war die Kammer durch einen Quarzdeckel verschlossen, auf dem sich eine Wasserschicht von 1 mm Höhe befand, um das Verdunsten des Tropfens zu verhüten. Der Tropfen mit den Algen ist möglichst auszubreiten, damit alle Schichten des Tropfens möglichst nahe der Brennpunktebene liegen; denn sonst zeigen sich in der Wirkung der Strahlen auf die Algen in den verschiedenen Schichten des Tropfens deutliche Unterschiede.

Bei einer Intensität von 2,4 Amp. im primären Strom stellten die bestrahlten Algen schon nach 3—5 Sekunden ihre Bewegung ein. Viele hatten ihre Zilien verloren. Wurden sie durch schwächere Intensitäten zur Sistierung gebracht und die Bestrahlung sofort abgebrochen, so blieben sie an der Stelle liegen, stundenlang hin- und herrückend, wie wenn sie dort mit den Zilien fest angeheftet wären. Nur selten sah ich einige Exemplare wieder frei kommen und herumschwimmen. Die meisten setzten das Hin- und Her-rücken 4—12 Stunden fort und starben dann ab. Sie hatten zum Teil durch die Bestrahlung die Zilien verloren, bei anderen war deutlich körnige Struktur der Zilien nach der Bestrahlung zu erkennen. Der Grund für die überaus schnelle Sistierung der *Chlamydomonaden* ist wohl in der großen Empfindlichkeit der Zilien zu sehen. Diese dünnen Plasmagebilde werden ja sofort in allen Teilen von den schädlichen Strahlen getroffen. Wird eine Stelle des Tropfens mit Licht der Magnesiumlinie stark bestrahlt, so sammeln sich dort außer den sofort sistierten Algen immer neue an, denn auch die von anderen Stellen des Tropfens in das Strahlenfeld kommenden Algen werden sofort durch die Strahlenwirkung in ihrer Bewegung angehalten, und so sammelt sich schließlich die Hauptmasse der im ganzen Tropfen verbreiteten Algen um den Brennpunkt an. Bei schwächeren Intensitäten dagegen ist deutlich zu beobachten, wie die ins Bestrahlungsfeld gekommenen Algen wieder fortzuschwimmen suchen.

Die Bewegung von *Chlamydomonas* hörte auf.

bei 2,4 Amp.	nach 3—5"	bei 2,4 Amp. (diffus)	nach 4"
„ 2,1 „ (diffus)	„ 9'	„ 1,8 „	„ 16'

Aus den Versuchen ist ersichtlich, daß das Licht von 280 $\mu\mu$ Wellenlänge einen heftigen Reiz auf das Plasma der Pflanzenzellen ausübt, indem es leicht die Plasmabewegung aufhebt und überhaupt das Leben des Plasmas vernichtet. Daß dieser Reiz in einer direkten Einwirkung auf das Plasma der Zellen besteht, ist besonders bei *Tradescantia* zu sehen, wo in dem Plasma der Haarzellen heftige Kontraktionserscheinungen ausgelöst werden. Ver-

¹⁾ Hertel, l. c. p. 20.

langsamung und Stillstand der Bewegung folgen meist schnell aufeinander. Der Tod der Zelle tritt aber erst einige Zeit später ein. Die Bestrahlung führt bei allen Objekten auch den Tod herbei, wenn sie kurz vor der völligen Sistierung der Plasmabewegung abgebrochen wurde.

Eine Beschleunigung der Bewegung durch das ultraviolette Licht, also eine Erregungswirkung, hat Hertel bei Oscillarien deutlich beobachten können, „denn dieselben legten, durch die Bestrahlung aus dem Beobachtungsfeld vertrieben, dieselbe Strecke unter der Einwirkung der Strahlen viel schneller zurück als vorher, wo sie nur unter der Einwirkung des sichtbaren Lichtes standen.“ „Bei der Plasmabewegung war ihm eine Beschleunigung der Bewegung nicht immer deutlich geworden. Genauere Messungen scheinen auch hier manchmal eine gewisse Beschleunigung zu ergeben.“¹⁾ Um diese Frage zu entscheiden, untersuchte ich außer *Tradescantia*, *Hydrocharis*, *Vallisneria*, auch *Nitella*. 30 Minuten lang vor der Bestrahlung wurde die Strömungsgeschwindigkeit des Plasmas durch Messungen mit dem Okularmikrometer festgestellt. blieb sie konstant, so begann ich mit der Bestrahlung. Die Geschwindigkeit der Plasmaströmung nahm stets zuerst nur wenig ab, erst nach einiger Zeit wurde sie entschieden langsamer und dann sistiert. Aber vielleicht trat bei diesen Bestrahlungen die Schädigung zu schnell ein, als daß eine transitorische Beschleunigung beobachtet werden konnte. Ich prüfte nun die verschiedensten Intensitäten bis herunter zu 1,7 Amp. diffus. Entweder wurde nun die Plasmaströmung der Zellen durch diese schwachen Intensitäten innerhalb 60 Minuten gar nicht, wie z. B. die der großen Haarzellen von *Tradescantia virginica*, oder nur hemmend beeinflusst. Es ist aber immerhin nicht ausgeschlossen, daß bei sehr großer Schwächung der Intensität ein Reiz im positiven Sinne ausgeübt wird; denn durch inframaximale Dosen vieler schädlicher Agentien sehen wir häufig eine gewisse Beschleunigung der Bewegung veranlaßt.²⁾

Die Desorganisationserscheinungen der Zellelemente.

Das Protoplasma.

In diesem Abschnitt will ich nur die Wirkung starker Intensitäten des Lichts von $280 \mu\mu$ auf die Zellen und ihre einzelnen Bestandteile prüfen. Meist wurden zur Bestrahlung 2,4 Amp. im primären Strom angewendet.

Dieselben Desorganisationserscheinungen, die wir bei den Haarzellen von *Tradescantia* im vorigen Abschnitt schon kennen gelernt haben, treten auch hier ein, nur eben der starken Intensität gemäß sehr schnell. Oft sind gleich am Beginn der Bestrahlung in den jungen Haarzellen von *Tradescantia* viele kleine

¹⁾ Hertel, l. c. p. 20.

²⁾ Pfeffer, Pflanzenphysiologie. II. p. 752.

Vakuolen zu sehen, so daß das ganze Plasma ein netzförmiges Aussehen hat. Diese Vakuolen vergrößern sich schnell und das Plasma zieht sich, was besonders gut bei den jungen *Tradescantia*-Zellen zu sehen ist, auf die peripherischen Schichten zurück. Schon nach einer Bestrahlung von einer halben Minute hat sich das Plasma in diesen Haarzellen an die Wände und den Kern gelegt. Bei Pilzhyphen und Pollenschläuchen legt sich das Plasma oft sofort als dicke Schicht an die Wände, oder es bilden sich in den schlauchförmigen Zellen zuerst kurze, dann längere Vakuolen, die durch Plasmapfropfen voneinander getrennt sind. Ganz ähnliche Erscheinungen treten bei der Einwirkung von starkem Sonnenlicht auf die Mycelfäden ein.¹⁾ Während bei etwas schwächeren Intensitäten durch die Strahleneinwirkung auf das Plasma der *Tradescantia*-Zellen erst nach Vakuolenbildung oder dem Zerfall der Stränge jegliche Bewegung aufhört, macht sich bei stärkeren Intensitäten, wie 2,4 Amp., neben der kontrahierenden auch die lähmende Wirkung der Strahlen stärker geltend; und es gelingt oft, die Strömung in den großen Haarzellen zum Stillstand zu bringen, ohne daß die Stränge zerfallen oder in den Wandbeleg einbezogen werden. Die durch die Kontraktionseinwirkung des Lichts gebildeten Plasmakugeln bleiben nun auf dem dünnen, straffgespannten Strang unverändert liegen. Die Überführung des Plasma in den lichtstarren Zustand ohne den sofortigen Zerfall der Stränge ist am besten an den stärkeren Strängen der großen Haarzellen von *Tradescantia* zu studieren. Die dünneren Stränge zerreißen auch hier, und bei jüngeren Zellen legt sich das ganze Plasma fast sofort an die Wand. Da wir bei stärkeren Intensitäten die lähmende Wirkung schon früher eintreten sahen als bei schwächeren, so ist zu vermuten, daß bei noch stärkeren Intensitäten die Lähmung des beweglichen Plasmas so schnell eintritt, daß sich vorher keine Kontraktionserscheinung mehr bemerkbar machen kann, und das Plasma sofort in der Anordnung, die es in der unbestrahlten Zelle hat, in den lichtstarren Zustand übergeführt wird. Aber auch bei einer Bestrahlung mit 2,8 Amp. im primären Strom treten stets noch Kontraktionen und Knotenbildung auf den Strängen vor dem Eintritt der Lichtstarre auf.

Wenn wir *Tradescantia*- und *Spirogyra*-Zellen bis zur Sistierung der Bewegung und dem Zerreißen der Stränge und Bänder bestrahlen, so ist in den getroffenen Zellen der Turgor noch nicht geschwunden.

Sie zeigen vielmehr oft 10—20 Minuten gegen Salpeterlösung noch dasselbe Verhalten wie die nicht bestrahlten Zellen. Doch tritt, wie schon oben bemerkt, die Bewegung in ihnen niemals nach diesen Bestrahlungen wieder auf, und die Zellen gehen stets zu Grunde. Wir haben es also hier mit einem Übergangsstadium nach der Bestrahlung zu tun, aus dem die Zellen aber niemals wieder aufleben.

¹⁾ Schröter, Über Protoplasmaströmung bei Mucorineen. (Flora. 1905. Ergänzungsband. p. 12.)

Bei andauernder starker Bestrahlung ist aber einige Minuten nach der Sistierung der Bewegung und dem Zerfall der Stränge zu sehen, daß die senkrechten Zwischenwände zwischen den belichteten und nicht belichteten Zellen sich in die ersteren hineinwölben; jetzt ist auch die Permeabilität des Wandbelegs der Zellen für Farbstofflösungen gestiegen, während bis dahin die bestrahlten Zellen trotz der Zerstörungserscheinungen, wie Zerreißen der Stränge und Vakuolenbildung, die Farbstoffe nicht schneller aufnahmen als die gesunden Zellen.

Besonders schön tritt bei *Spirogyra* durch Methylgrün der Gegensatz zwischen bestrahlten und unbestrahlten Zellen hervor.

Die durch Licht völlig getöteten Zellen nehmen den Farbstoff sofort auf und werden dunkelgrün. Nach einiger Zeit nehmen aber auch die unbestrahlten Zellen einen rot-violetten Farbenton an, indem zahlreiche rötliche Körnchen in den Zellen auftreten. Wusch ich das Präparat wiederholt aus, so wurden die stark bestrahlten grünen Zellen heller grün bis fast farblos, die andern aber behielten ihre violette Färbung. Das Methylgrün ist nämlich stets durch das Methylviolett verunreinigt. In den nicht bestrahlten Zellen bildet sich von diesem letzteren Farbstoff nun der rötliche körnchenreiche Niederschlag. Dieser entstand in den bestrahlten Zellen nicht, sondern dort wurden die Farbstoffe nur in den Zellsaft aufgenommen und beim Auswaschen leicht wieder abgegeben.

An den Haarzellen von *Tradescantia virginica* treten außer den schon beschriebenen Desorganisationserscheinungen im Plasma noch andere Veränderungen bei langer starker Bestrahlung auf. In ganz jungen Zellen löst sich meist der Plasmabelag in den Ecken der Zellen ab und zieht sich in das Innere der Zelle zurück. Ferner entstehen an fast allen stark bestrahlten Zellen blasenförmige Abhebungen der Kutikula. Wir wollen im folgenden etwas näher auf die letztere Erscheinung eingehen.

Bei intensiver Bestrahlung, die nach wenigen Minuten die Zellen tötet, hebt sich nach 15—20 Minuten oft die Kutikula an Zellen der Staubfadenhaare von *Tradescantia virginica* ab. An den länglichen Zellen der blauen Filamenthaare entstehen die Abhebungen, auch wenn sich die Zellen vollständig im Strahlenfeld befinden, zuerst nur am Ende der Zellen, wo sie erst wenig und dann mit längerer Bestrahlung allmählich zu halbkugeligen Blasen hervorgewölbt werden. Oft treten die Blasen an demselben Ende einer Zelle zu beiden Seiten hervor, mit dem einen Ende ihrer Umgrenzungslinie zur Quermembran einbiegend, während das andere sich als feine Linie bogenförmig auf der Unterseite der Zelle in der Streifung der Kutikula verliert. Oft zeigen Nachbarzellen an ihren gemeinsamen Quermembran die Kutikulaabhebungen, und diese gehen dann zu einer Blase über, indem sich die zur Quermembran eingeschnürten Teile der Kutikula mehr und mehr nach außen wölben. An den Längswänden ist die Kutikula vor der Blasenbildung oft fein gewellt. Die an den Enden der länglichen Zellen entstandenen Blasen verbreiten sich bei weiterer Bestrahlung und verlängern sich, indem die auf der unteren Seite der Zelle

deutlich sichtbaren Ansatzstellen, wo die die Blasen umgebende Kutikula der Membran sich wieder anlegt, nach dem anderen Ende der Zelle vorrücken, bis die ganze Kutikula abgelöst ist. Bei den ganz jungen Haarzellen, die der ersten Altersstufe entsprechen, hebt sich die Kutikula an allen Stellen der Längswand der Zellen meistens gleichzeitig ab. Die Blasen, die hintereinander liegende Zellen gebildet haben, treten hier sehr schnell in Verbindung miteinander, und die Abhebungen reichen dann oft über mehrere Zellen.

Auch an Pollenschläuchen von *Lathyrus latifolius* habe ich die Blasenbildung beobachtet. Dort wird die Kutikula meist in kugelrunden Bläschen abgehoben, die zuweilen sehr zahlreich an dem Pollenschlauch auftreten. Ich habe sie aber nicht immer dort erhalten können, bei sehr kurzen Pollenschläuchen nie.

Spirogyra, *Cladophora*, Blättchen von *Ranunculus fluitans*, Haare von *Trianea* und *Cucurbita pepo* zeigen nach 60^m Bestrahlung noch keine blasenförmigen Auftreibungen.

Bei *Tradescantia virginica* traten Blasen durch die Bestrahlung an Haarzellen aller Altersstufen auf. Ob überhaupt die Kutikula aufgehoben wird und wie schnell die Blasen auftreten und vergrößert werden, ist individuell verschieden. Die Erscheinung ist zu beobachten, sowohl wenn die Objekte sich in Leitungswasser, Zuckerlösung oder schwacher Salpeterlösung befinden. Die Blasen treten ebenso in Sauerstoff wie auch in Wasserstoff-Atmosphäre auf. Doch war fast stets in Wasserstoff bei gleicher Bestrahlungsdauer die Größe der Blasen geringer als in Luft und Sauerstoffatmosphäre.

Werden die Zellen durch Salpeterlösung stark plasmolysiert und dann bestrahlt, so hatte sich das Plasma nach 18 Minuten gleichmäßig körnig über die Zelle verteilt, und nach 15 Minuten weiterer Bestrahlung hatten sich typische Blasen gebildet.

Auf Zusatz von 5—10prozentiger Salpeterlösung, besonders aber auf Zusatz von Alkohol, blähen sich die Blasen stark auf, so daß jetzt die Kutikula außerordentlich gedehnt wird. Durch Wasserzusatz kollabieren die Blasen wieder erheblich. Durch neuen Zusatz von Alkohol werden sie sofort wieder stark aufgebläht. Die Größe, die die Blasen durch die Bestrahlung erhalten haben, behalten sie mehrere Stunden bei, dann zeigen sich Einschnürungen in der gedehnten Kutikula und sie gehen langsam zurück. Die Kutikula legt sich aber niemals wieder glatt an die Zellmembran an, und die Blasen verschwinden nicht gänzlich. Auf Zusatz von konzentrierter Schwefelsäure und Glycerin gehen die Blasen sofort zurück und die Kutikula legt sich in Längs- und Querfalten an die Membran an.

Der Inhalt der Blasen von weißen Haarzellen ist ungefärbt. An den blauen Haarzellen von *Tradescantia virginica* sind die hervortretenden Blasen zuweilen auch farblos. Nach kurzer Zeit aber sieht man dann den Blaseninhalt sich mehr und mehr violett färben, bis der Farbenton dem des Zellinhalts gleichkommt.

Mit Jod-Jodkalium färben sich die Blasen und das Zellinnere gelbbraun. Werden die Objekte mit Methylenblau gefärbt, so nimmt hauptsächlich der Zellinhalt eine dunkelblaue Färbung an, die Blasen sind nicht so dunkel gefärbt, und ihr Farbenton wird beim Auswaschen immer heller. Auf Alkoholzusatz vergrößern sich die Blasen sofort sehr stark und nehmen dabei aus der Zelle blauen Farbstoff auf. Der Übergang des Farbstoffes aus der Zelle in die Blase ist dabei deutlich zu beobachten, indem zunächst nur der Blaseninhalt in der Nähe der Membran sich dunkler blau färbt. Erst nach einiger Zeit ist die ganze Blase gleichmäßig blau gefärbt. — Ähnliche blasenförmige Abhebungen der äußeren Hautschichten, aber unter normalen Verhältnissen, beschreibt Hanstein für verschiedene Pflanzen als Harz und Schleim enthaltende Organe¹⁾. Unter dem Einfluß von Salz- und Salpetersäure hebt sich an den Höckern vieler Pflanzenhaare die Kutikula ab²⁾, indem sich zwischen Kutikula und Zelluloseschichten eine wahrscheinlich harzartige Substanz befindet, die nicht in Wasser, aber in den genannten Säuren quellbar ist. Nach Zusatz von Essigsäure treten nach Brand an der Spitzenzelle von *Cladophora* wasserhelle, blasenartige Abhebungen auf³⁾.

Da der Inhalt der Blasen, die durch Bestrahlung mit ultravioletttem Licht an den Haarzellen von *Tradescantia virginica* entstehen, sich mit Jod-Jodkalium oder Methylenblaulösung gegen die umgebende Flüssigkeit durch deutliche Färbung abhebt, so müssen diese Blasen außer Wasser noch einen weiteren Stoff enthalten. Dieser Stoff nimmt Alkohol in großen Mengen auf, wie die Aufblähung der Blasen bei Alkoholzusatz und die enorme Dehnung, die die Kutikula erfährt, schließen lassen. Entziehen wir durch reichlichen Wasserzusatz dem Präparat den Alkohol, so gehen die Blasen bis auf die frühere Größe zurück. Lassen wir sehr stark wasserentziehende Mittel, wie unverdünntes Glyzerin oder Schwefelsäure zutropfen, so entziehen diese dem gequollenen Blaseninhalt das Wasser, die Blasen gehen ganz zurück, und die sie umgebende Kutikula legt sich in Falten an die Zellenmembran an.

Die Füllmasse der Blasen kann durch Quellung der Kutikular- und Membranschichten unter der Strahlenwirkung entstanden sein, oder wird vom Protoplasma der Zelle gebildet, dessen Moleküle unter der dissoziierenden (ionisierenden) Kraft der verwendeten Strahlen Umsetzungen erfahren oder vielleicht zerfallen⁴⁾. Ich glaube nun besonders in der letzten Wirkung der Strahlen die Ursache der Blasenbildung sehen zu müssen. Das Umsetzungsprodukt nimmt dann, nach meiner Auffassung, Wasser auf, durch-

¹⁾ Hanstein, Bot. Zeitung. 1868. p. 700.

²⁾ Schenk, Unters. über Bildung centrif. Wandverdickungen an Pflanzenhaaren und Epidermis. Dissertation. Bonn 1884.

³⁾ Brand, Über Membran, Scheidewände und Gelenke d. Algengattung *Cladophora*. (Berichte d. d. bot. Gesellschaft. Bd. 26. p. 118.)

⁴⁾ Aschkinas u. Kaspari, Über den Einfluß dissoziirender Strahlen auf organ. Substanzen etc. (Archiv für die ges. Physiologie. Bd. 86. 1901. p. 604.

dringt die ebenfalls durch die Strahlen geschädigten Membranschichten und führt nach längerer Bestrahlung die beschriebenen Abhebungen der Kutikula, von der diese gequollene protoplasmatische Substanz nicht hindurchgelassen wird, herbei. Die letztere Annahme wird auch durch die Beobachtungen Hertels gestützt, der nach längerer Bestrahlung von Protozoen und Knidarien wasserhelle Tröpfchen an der Oberfläche der Tiere sich abscheiden und schließlich die Tierchen zerfließen sah¹⁾. Daß nun in der Tat auch das Plasma der Pflanzenzelle durch die Wirkung der Strahlen zum Zerfließen gebracht wird, will ich an den Zellen von *Chlamydomonas* zeigen, bei denen das Zerplatzen und Zerfließen wegen ihrer zarten Wandung und des geringen Durchmessers der Zellen leichter eintreten mußte als bei den stark behüteten Haarzellen von *Tradescantia*.

Bestrahlen wir die beweglichen Algenzellen mit starker Intensität (2,4 Amp.), so haben sich, wie schon oben bemerkt, nach kurzer Zeit eine große Zahl von ihnen in und um den Brennpunkt angesammelt. Nach 10—15 Minuten Bestrahlung zeigen besonders die am Rande des Brennpunktes gelegenen Algenzellen am farblosen Ende wasserhelle Tröpfchen. Meist aber hat sich eine große blasenförmige Vakuole an dem farblosen Ende gebildet, die die chlorophyllhaltigen Plasmateile auf einen halbmondförmigen Teil zurückdrängt. Die wasserhelle kugelige Blase ist von einer dünnen, farblosen Plasmaschicht umgeben und ist oft viel größer als die eigentliche Algenzelle. Zuweilen tritt auch die Vakuole mitten in der Algenzelle auf und drängt dann die chlorophyllhaltigen Teile nach beiden Seiten auf eine schmale halbmondförmige Randpartie zurück. Diese großen farblosen Blasen platzen dann häufig oder lösen sich von den grünen halbkugeligen oder sichelförmigen Teilen los, so daß oft viele freie, dünne Plasmaringe zu sehen sind (Fig. 5, Taf. II). Die stark getroffenen Zellen, die im Brennpunkt der Strahlen liegen, sind nicht geplatzt. Bei den meisten hat sich eine dicke Wandschicht gebildet, während das Innere gleichmäßig feinkörnig über die Zelle verteilt ist. Auch die grüne Farbe hat sich gleichmäßig über die Zelle verteilt und nur der farblose Kern tritt noch als besonderes Gebilde darin hervor. Nach 30 Minuten Bestrahlung haben wir schließlich nur noch eine gleichmäßig hellgrüne Scheibe vor uns, die meist alle Zellbestandteile ineinander geflossen zeigt. Durch den geringen Druck, den die Wände der stark bestrahlten Algenzellen beim bloßen Aneinanderliegen aufeinander ausüben, verlieren sie jetzt ihre runde Gestalt, die Wände platten sich aneinander ab, und wir erhalten oft polygonale Formen, wie Figur 6, Taf. II sie zeigt. Ihr Inneres ist darnach sehr weich oder vielleicht flüssig.

Das Grundgerüst der Chlorophyllkörper.

Auch die Chlorophyllkörper werden durch das ultraviolette Licht sehr geschädigt. Für die Versuche wählte ich meist Farn-

¹⁾ Hertel, l. c. p. 12.

prothallien und *Spirogyra*. In den Zellen der Farnprothallien z. B. macht sich bei der starken Bestrahlung mit 2,4 Amp. in den ersten Minuten keine Wirkung bemerkbar. Nach 4—5 Minuten nehmen dann aber oft die Chlorophyllkörner auffallend länglich spindelförmige Gestalt an, sind sehr scharf umgrenzt, und die benachbarten sind häufig in eine kleine grüne Spitze, die sie gegeneinander gerichtet haben, ausgezogen. Es hat den Anschein, als seien die Körner jetzt an beiden spitzen Enden starkem Zug ausgesetzt. Genauere Beobachtung zeigt, daß sie in Richtung der Spitzen durch einen dünnen Plasmastrang verbunden sind. Durch die kontrahierende Wirkung der Strahlen scheinen diese Verbindungsfäden deutlicher hervorzutreten. Sehr eingehend bespricht Lidforss dieselben. Er erhielt durch Beobachtungen an Zellen von *Ranunculus lingua* den bestimmten Eindruck, daß diese Plasmastränge besonders der Beförderung der Chloroplasten dienen¹⁾.

Nach sieben Minuten Bestrahlung ist dann plötzlich die Lage der meisten Körner zueinander eine ganz andere geworden. Solche, welche vorher die ausgezogenen Spitzen gegeneinander gerichtet hatten, liegen jetzt zu 2 oder 3 dicht beieinander und sind kugelförmig. Die Stärkekörner in ihnen sind jetzt viel undeutlicher als vorher, und die Zelle ist mit einer Unzahl kleiner tanzender Körnchen erfüllt, die sich mit Jod-Jodkalium braun färben. Die meisten Stränge sind zerfallen. Die Chlorophyllkörner sind nun anscheinend durch den zwischen ihnen straffgespannten Plasmastrang aneinander gezogen worden und haben sich, von der Spannung befreit, abgerundet. Bei weiterer Bestrahlung wird auch die Trennungslinie der aneinander liegenden Körner immer undeutlicher, so daß sie an der Berührungsfläche fast zusammengeflossen erscheinen. Ein vollständiges Zerfließen der Chlorophyllkörner habe ich auch nach 60 Minuten Bestrahlung mit 2,4 Amp. noch nicht beobachtet.

Ebenso werden die Chlorophyllbänder der *Spirogyra*-Zellen vom ultravioletten Licht stark geschädigt. Bei Bestrahlung mit mittelstarken Intensitäten, etwa 1,6—2 Amp., zeigen sie sehr bald die mannigfachsten Kontraktionserscheinungen. Die Bänder verlieren die Auszackungen ihres Randes, sie werden viel dünner und spannen sich straff um die Pyrenoide, so daß die letzteren nur noch als Verdickungen der dunkelgrünen Stränge zu erkennen sind. Dabei sind diese kontrahierten Bänder oft quer durch die Zelle gespannt und liegen nicht mehr der oberen Zellwand an. Sie zeigen jetzt eine gleichmäßig körnige Struktur, und hin und wieder treten ringförmige oder längliche, runde, farblose Stellen in ihnen auf, die aber ihre Gestalt vielfach verändern und wieder verschwinden. Oft sieht man dann die grünen Stränge sich zu drei oder vier in ihrer Mitte aneinanderlegen und miteinander verschmelzen. Zugleich treten, wie bei den Farnprothallienzellen, eine große Menge kleiner, weißer Körnchen, die lebhaft hin und her tanzen, in den Zellen auf. Da auch der Kern jetzt meist de-

¹⁾ Lidforss, Über kinoplasmatische Verbindungsfäden zwischen Zellkern und Chromatophoren. 1908. p. 37.

plaziert ist, so möchte ich auch hier das Auftreten der zahlreichen Körnchen auf den Zerfall der Plasmastränge zurückführen. Auch hier ist wohl das Aneinanderlegen der Chloroplasten durch den Zug sie verbindender und gespannt gewesener Protoplasmastränge zu erklären. Bei weiterer Bestrahlung werden an einigen Stellen die grünen kontrahierten Bänder zwischen zwei Pyrenoiden immer dünner, ziehen sich schließlich in einen dünnen grünen Faden aus und reißen. Die Enden an der Reißstelle schnellen dann zurück, werden eingezogen und die auseinander gerissenen Enden des grünen Stranges zeigen nun meist keulenförmige Form. Manchmal reißen die grünen Stränge auch vor und hinter demselben Pyrenoid. Die zurückschnellenden, am Pyrenoid haftenden Enden kontrahieren sich um dasselbe, und wir erhalten dunkelgrüne kugelige Gebilde von ganz gleichmäßiger Struktur. Dann reißen die Bänder auch an einer Längswand ab, ziehen sich schnell bis zur anderen zurück und kontrahieren sich dort zu einem dunkelgrünen Knoten; oder sie ziehen sich auch von einer Längswand zur anderen zurück, einen feinen Plasmafaden zurücklassend, der auch in gesunden Zellen in der Mitte der Bänder, von Pyrenoid zu Pyrenoid ziehend, zu sehen ist. Ferner quellen die Bänder auch zu verschiedenen Formen auf und werden zu wurstartigen Schläuchen mit einer dichteren peripherischen Schicht, die viele Körnchen eingelagert enthält. Alles dies sind Erscheinungen des Absterbens, die auch durch höhere Wärmegrade, mechanische Verletzungen usw. hervorgerufen werden. Dieselben treten unter der Strahlenwirkung nur bei nicht zu starken Intensitäten auf. Auch sind sie als Nachwirkungen zu beobachten, wenn wir mit stärkeren Intensitäten, z. B. 2,4 Amp., nur einige Minuten, etwa bis zum Zurückgehen der Auszackungen an den Bändern, bestrahlen. Im Brennpunkt starker Intensitäten wirken die Strahlen dann wieder wie bei Haarzellen von *Tradescantia* schneller auf die Erstarrung der protoplasmischen Grundsubstanz der Chlorophyllbänder hin, und nur am Rande des Brennpunktes treten die Kontraktions- und Quellungserscheinungen erheblicher auf. Doch ist es mir auch hier nicht gelungen, die Bänder lichtstarr zu machen in der Form, die sie uns in der lebenden Zelle zeigen. Stets machten sich vorher noch Kontraktionserscheinungen geltend, wenn sie auch manchmal nur darin bestanden, daß die Auszackungen der Bänder sich abflachten. Die Lichtstarre trat aber immer, auch bei *Spirogyra*-Fäden von starkem Durchmesser, so früh ein, daß die Ordnung der Bänder erhalten blieb und auch der Kern nicht deplaziert wurde. Die eben beschriebene Wirkung des ultravioletten Lichts ist sehr gut an der Fig. 7, Taf. II zu sehen. In der Mittelzelle, die in der Mitte des Strahlenfeldes lag, sind nur die Auszackungen der Bänder verschwunden. Die ihr zunächst gelegenen Bänder der Nachbarzellen zeigen schon stärkere Kontraktion und sind dünner geworden, ehe sie in den lichtstarrten Zustand übergeführt wurden. Die parallele Anordnung ist auch bei ihnen noch erhalten. Die weiter von der Mittelzelle entfernt liegenden Bänder der Nachbarzellen sind dagegen zum Teil zerrissen, zum Teil haben sie sich

aneinandergelegt. Bei weiterer Bestrahlung der lichtstarren Bänder ist dann ein Auseinanderweichen der in den Pyrenoiden gelegenen Stärkekörner zu beobachten, die nach 20 Minuten starker Bestrahlung im weiten Umkreis oft um das Pyrenoid herumliegen und manchmal noch nachträglich in der Längsrichtung des Bandes sich zu zerstreuen scheinen. Ob diese Erscheinung durch eine Erweichung oder Verflüssigung des Pyrenoids oder des Chlorophyllkörpers veranlaßt ist, kann ich nicht entscheiden. Es ist mir selbst nach zweistündiger Bestrahlung nicht gelungen, die Chlorophyllbänder zum Zerfließen zu bringen.

Die Farbstoffe des Zellinhalts.

Die Zerstörung der Farbstoffe des Zellinhalts, und vor allem des Chlorophyllfarbstoffes durch das konzentrierte Sonnenlicht, ist bei Pringsheims Versuchen die erste und deutlichste Veränderung, die wir in den Zellen vor sich gehen sehen. Die Zerstörung des Chlorophyllfarbstoffes gelang ihm sogar auch unter Erhaltung des Lebens der Pflanzenzelle.¹⁾

Dasselbe Resultat ergaben meine Versuche, bei denen ich *Spirogyra*-Zellen und Haarzellen von *Tradescantia* mit intensivem elektrischen Bogenlicht bestrahlte. Selbst nach 60 Minuten langer Bestrahlung mit 2,4 Amp. im primären Strom habe ich aber bei *Spirogyra*, *Cladophora*, *Nitella* und *Tradescantia* keine Entfärbung durch das Licht von 280 μ Wellenlänge bemerken können. Auch die Blütenfarbstoffe der gelben Zungenblüten von *Helianthus*, der stahlblaue Mischfarbstoff der Oscillarien und der Farbstoff der Pollenkörner von *Tradescantia* verschwanden nicht unter der Einwirkung des ultravioletten Lichts.

Der Zellkern.

Der Kern wird zunächst, soweit zu erkennen ist, nur insofern durch die Bestrahlung geschädigt, als er durch den Druck oder Zug des sich kontrahierenden oder Vakuolen bildenden Plasmas seine Lage verändert. Veränderungen an ihm selber werden nicht oft sichtbar, da er meist durch angesammelte Körnchen und Plasmamassen verdeckt wird oder durch die Vakuolen fest an die Wand gepreßt wird. Zu Anfang der Bestrahlung zeigt er meist eine äußerst deutliche und scharfe Umgrenzungslinie. Am deutlichsten habe ich Veränderungen in der Struktur des Kerns bei den ganz jungen Haarzellen der Staubfäden von *Tradescantia virginica* gesehen. Er scheint nach kurzer, starker Bestrahlung aus kurzen, groben Fäden und Plasmaknoten zu bestehen, oder er zeigt längere, dicke, parallel geordnete Fäden, die meist in der Richtung der Längsachse der Zelle liegen. Es hat den Anschein, als wollte sich der Kernfaden in seine Chromosomen auflösen. Die Kerne behalten sowohl bei weiterer Bestrahlung, als auch wenn sie nicht

¹⁾ Pringsheim, l. c. p. 345.

weiter bestrahlt werden, diese Struktur nicht lange bei. Die einzelnen Fäden werden bald undeutlicher, und nach einiger Zeit haben die Kerne wieder gleichmäßig feinkörniges Aussehen. Auch nach der Behandlung mit Methylgrün-Essigsäure und Hämatoxylin oder Chrom oder Pikrinsäure waren diese Fäden niemals mehr deutlich zu sehen. Ähnliche Chromatinballungen, die gleichfalls als Reizerscheinungen aufzufassen sind, wurden beobachtet bei der Fütterung der *Drosera*-Tentakel von Huie und Rosenberg und in den Verdauungszellen der endotrophen *Mykorrhiza* von W. Magnus¹⁾. Zuweilen zeigt sich bei Zellen von *Tradescantia* und *Spirogyra* während oder gleich nach kurzer, starker Bestrahlung ein Anschwellen des den Kern umgebenden Plasmas zu einer Blase, die einen scharf kreisrunden Umriß annimmt. Nach einigen Stunden verschwinden diese Blasen wieder.

Die Membran.

Die Zellwand der bestrahlten Zellen zeigt keine deutlichen Veränderungen. In den Zellen von *Spirogyra*, die unter der Strahlenwirkung Kontraktion und Quellung der Bänder zeigten, knickten die vorher geraden Fäden oft ein oder führten an dieser Stelle eine vollkommene Drehung um ihre Längsachse aus. Dasselbe Verhalten beobachtete Pringsheim bei der Bestrahlung mit konzentriertem weißen Licht.²⁾ Er sagt, es wäre möglich, daß entstehende Ungleichheiten in der Spannung der Kutikular- und der inneren Membranschichten der belichteten Zellen ihre Drehung bewirken könnten.

Um nun die Unterschiede zwischen der Wirkung des ultravioletten und intensiven weißen Lichts festzustellen, habe ich einige Bestrahlungsversuche mit intensivem elektrischen Bogenlicht an *Spirogyra*-Zellen und Haarzellen von *Tradescantia virginica* angestellt. Die Versuchsobjekte befanden sich stets im hängenden Tropfen an dem oberen Glasboden der Gaskammern. Die Versuche wurden in Luft und Wasserstoff ausgeführt. Wie bei Pringsheims Versuchen war auch hier die Wirkung der blauen Spektralhälfte unverkennbar stärker als die der roten, was eben auf die mit der kürzeren Wellenlänge verbundene stärkere Absorption der blauen Strahlen zurückzuführen ist. Daraus erklärt sich auch wohl die rasche und intensive Wirkung der Strahlen von 280 μ Wellenlänge, die von allen Zellen stark absorbiert werden. Während nun die tödliche Wirkung des weißen oder blauen intensiven Lichts im Wasserstoff unterblieb, erhielt ich bei Bestrahlung mit dem ultravioletten Licht dieselben Desorganisationserscheinungen des Objekts in der Wasserstoffatmosphäre wie in Luft. Der Wasser-

¹⁾ Magnus, W., Studien an der endotrophen *Mykorrhiza* von *Neottia nidus avis*. (Jahrbücher f. w. Botanik. Bd. 35. p. 249. Siehe auch dort die anderen Literaturangaben.)

²⁾ Pringsheim, l. c. p. 368.

stoff wurde stets schon 15 Minuten vor Beginn der Bestrahlung und auch während derselben in lebhaftem Strome durch die Gaskammer geleitet.

Wenn wir nun die Einwirkung des intensiven sichtbaren und ultravioletten Lichts auf die Pflanzenzellen vergleichen, so ist zunächst bei allen Versuchen mit Strahlen von 280 $\mu\mu$ Wellenlänge die starke Wirkung dieses Spektralbezirks auf die protoplasmatische Substanz auch bei verhältnismäßig schwachen Intensitäten hervorzuheben. Bei stärkeren Intensitäten sehen wir außer Kontraktionen auch noch Erstarren und schließlich Zerfließen des Protoplasmas eintreten. Das intensive rote und blaue Licht führt hauptsächlich nur eine Erstarrung der protoplasmatischen Substanz herbei. Es treten aber dabei an der Randzone des Brennpunktes auch geringfügige Kontraktionserscheinungen auf, die, wie Pringsheim auch für *Tradescantia virginica* abbildet, meist nur in einer Abhebung des Protoplasten von der Wand¹⁾ oder bei *Spirogyra* in einer Abflachung der Bandzacken sich äußern. In seiner Betrachtung über die Desorganisation des Plasmas durch Licht sagt Klemm: „Kontraktionen treten nur unter Umständen auf, nämlich dann, wenn die Intensität des Lichts vom Ultramaximum so weit entfernt war, daß sie das Plasma zwar stark schädigte, aber doch erst nach längerer Zeit den Tod herbeizuführen vermochte.“²⁾ Im intensiven Licht von 280 $\mu\mu$ treten Kontraktionen des Plasmas stets deutlich hervor, bei nicht zu starken Objekten fast gleichzeitig mit Beginn der Bestrahlung, und gerade besonders schnell und stark bei Intensitäten, die die Zellen sehr bald töten. Ein Zerreißen und knotige Anschwellungen der Plasmastränge hat auch Pringsheim bei seinen Versuchen beobachtet, doch kommt es im intensiven weißen Licht niemals zu so starken Plasmaballungen wie im ultravioletten. Vakuolenbildung, die im Licht von 280 $\mu\mu$ z. B. bei jungen *Tradescantia*-Zellen sofort auftritt, ist im weißen Licht nicht zu beobachten. Die Desorganisation durch hohe Intensitäten sichtbaren Lichts erfolgt ohne wesentliche und heftig verlaufende Formveränderungen. Es ist im Wesentlichen ein Erstarrungsprozeß, der um so rascher verläuft, je intensiver die Lichtwirkung ist.³⁾ Obgleich bei meinen Versuchen mit intensivem elektrischen Bogenlicht der Lichttod der Zellen oft erst nach fünfmal längerer Zeit als bei den Versuchen mit Licht von 280 $\mu\mu$ eintrat, so zeigte sich bei jenen doch nie die geringste der Kontraktionswirkungen, die bei diesen so schnell und heftig auftraten. Bei stärkeren Intensitäten tritt die lähmende Wirkung des ultravioletten Lichts, durch die das Protoplasma in den Starrezustand übergeführt wird, deutlicher hervor. Es gelingt dann, das Plasma der Haarzellen von *Tradescantia*, noch bevor die Stränge zerreißen, in der Form, die es unter der sich zuerst äußernden kontrahierenden Wirkung angenommen hat, lichtstarr zu machen. Die bestrahlten Zellen sterben

¹⁾ Jahrb. f. w. Botanik. Bd. 12. Figur 4. Tafel 15.

²⁾ Klemm, Desorganisationserscheinungen der Zelle. (Jahrb. f. w. Botanik. Bd. 28. p. 647.)

³⁾ Klemm, l. c. p. 646.

dann in wenigen Minuten ab. Der Tod der Zellen würde ja auch schon sicher eintreten, wenn wir die Bestrahlung kurz vor der Sistierung der Plasmaströmung abbrechen. Bei der Bestrahlung mit weißem intensiven Licht stellt in Bewegung befindliches Plasma seine Bewegungen ein, ohne nach dieser Bestrahlung abzusterben. Man kann dann in dem zur Lichtstarre gebrachten Plasma nach kürzerer oder längerer Zeit die Bewegung mit ungeschwächter Stärke wiederkehren sehen. Um den Tod des Plasmas durch die Bestrahlung herbeizuführen, muß also hier das Plasma, nachdem es lichtstarr geworden ist, noch einige Zeit dem intensiven Licht ausgesetzt bleiben. Ähnliche erhebliche Unterschiede zeigen die sichtbaren Strahlen und die Strahlen von $280 \mu\mu$ Wellenlänge in ihrer Wirkung auf die Chlorophyllbänder der Spirogyren. Bestrahlung mit Licht der Magnesiumlinie schwacher oder mittlerer Intensität veranlaßt Kontraktion, Zerreißen und Aufquellen der Bänder. Starke Intensitäten, soweit ich sie anwenden konnte, veranlassen ebenfalls zuerst noch mehr oder weniger Kontraktionen, bis dieselben durch das Starrwerden der protoplasmatischen Grundsubstanz der Bänder aufgehoben werden. Die durch intensives weißes Licht getöteten Spirogyrenbänder erstarren dagegen in ihrer normalen Form mit allen Konfigurationen des Bandes.¹⁾

Die verschiedene Wirkung des sichtbaren und ultravioletten Lichts auf die Farbstoffe in den Pflanzenzellen habe ich oben schon hervorgehoben. Was nun die dritte Wirkung des Lichts von $280 \mu\mu$ betrifft, durch die ein Zerfließen des Plasmas erzielt wird, so zeigt dieselbe anscheinend auch in geringem Maße das intensive Sonnenlicht. Denn Pringsheim hat hin und wieder ein Abheben der Kutikula an den insolierten *Tradescantia*-Zellen beobachtet²⁾. Es ist aber leicht möglich, daß hier die Quellung des Protoplasmas, die zur Abhebung der Kutikula führt, nicht durch das intensive sichtbare Licht, sondern durch die im Sonnenlicht enthaltenen ultravioletten Strahlen, die bis etwa zu $300 \mu\mu$ Wellenlänge vom Glase durchgelassen werden, hervorgerufen ist.

Wenn nun Klemm am Schluß seiner Betrachtung sagt: Ein wesentlicher Unterschied zwischen den durch Licht und Wärme in extremen Graden hervorgerufenen Erscheinungen beruht darauf, daß durch Licht niemals so intensive Massenbewegungen herbeigeführt werden, auch nicht bei plötzlicher Einwirkung, wie dies bei plötzlichem Temperaturwechsel geschieht, so können diese Unterschiede für Licht von $280 \mu\mu$ Wellenlänge nicht geltend gemacht werden³⁾; denn die Vakuolisierung, Kontraktionserscheinungen, Plasmaballungen und Aufquellen der Spirogyrenbänder sind als Massenbewegungen anzusehen. Bei ganz starken Intensitäten des Lichts der Magnesiumlinie treten diese Erscheinungen allerdings zurück, die Wirkung, die das Plasma erstarren läßt und dadurch die Massenbewegung aufhält, tritt mehr hervor. Diese Intensitäten

¹⁾ Pringsheim, l. c. p. 357.

²⁾ Pringsheim, l. c. p. 335.

³⁾ Klemm, l. c. p. 647.

wirken aber wiederum schnell tödend auf das Plasma. Es geht aus alledem hervor, daß der heftige, durch das Licht von $280 \mu\mu$ Wellenlänge ausgeübte Reiz anderen Reizqualitäten, wie z. B. der chemischen oder thermischen, gleichgestellt werden kann.

Hertel versucht nun auch in seiner Arbeit eine Erklärung für die Vorgänge bei der Wirkung des Lichts von $280 \mu\mu$ Wellenlänge zu gewinnen¹⁾. Er verweist zunächst auf seine Versuche mit *Elodea* und grünen Paramäcien, bei welchen Objekten die Wirkung der Strahlen im Dunkeln schneller eintrat als im Hellen. Er nimmt an, daß der im Lichte bei der Assimilation abgespaltene Sauerstoff die schädigende Wirkung der Strahlen aufhält, daß also die Strahlen O entziehend auf die Pflanzenzellen wirken. Seine Annahme wird gestützt durch die starke Reduktionswirkung, die diese Strahlen auf Silbernitrat und Nylanderlösung ausüben. Ferner konnte er die durch den Einfluß der Strahlen eintretende Reduktion des Blutes spektroskopisch nachweisen; denn bei seinen Versuchen ließ sich einwandfrei ein Verschwinden der vorher gut sichtbaren charakteristischen Oxyhämoglobinlinien konstatieren. Wenn er Paramäcien in Wasser überführte, das *Ferrum hydrogenio reductum* enthielt, so zeigten die Tierchen nicht selten Absterbeerscheinungen, die entschieden eine gewisse Ähnlichkeit hatten mit den durch die Bestrahlung hervorgerufenen. Und schließlich sagt Hertel: Alles in allem scheint mir jedenfalls nichts gegen die Annahme einer Reduktionswirkung der Strahlen auch auf die Zellen zu sprechen.

Einwirkung des Lichts von $280 \mu\mu$ Wellenlänge auf die Keimung der Sporen von *Mucor stolonifer* und das Wachstum der Hyphen.

Einleitung.

Die Wachstums- und Gestaltungsvorgänge der meisten Pflanzen werden in erheblichem Maße durch die Beleuchtung beeinflusst. Wie durch Verdunklung eine Begünstigung des Wachsens, so kann durch genügende Steigerung der Lichtintensität eine Hemmung bewirkt werden. Wir wissen, daß die verschiedenen Strahlengattungen physiologisch ungleichwertig sind. Gerade auf dem Gehalt an blau-ultravioletten Strahlen beruht die hemmende und tödliche Wirkung, die das gemischte Licht auf Bakterien und bei genügender Lichtkonzentration auf alle Pflanzen ausübt²⁾. Bei den Untersuchungen der verschiedenen Spektralbezirke auf das Wachstum zerlegte man das weiße Licht meist durch farbige Gläser oder Lösungen in einen rot-gelben und blau-ultravioletten Teil. Da als Lichtquelle in den häufigsten Fällen das an ultravioletten Strahlen verhältnismäßig reiche Sonnenlicht benutzt wurde, so waren bei Versuchen mit blau-ultraviolettem Licht die unsichtbaren Strahlen wahrscheinlich erheblich an dem Ergebnis beteiligt. Auf die

¹⁾ Hertel, l. c. p. 32—37.

²⁾ Pfeffer, Pflanzenphysiologie. II. p. 117.

Methode, wie man dann die Wirkung der letzteren Strahlengattung kennen zu lernen suchte, habe ich in der Einleitung hingewiesen. Die Wirkung anderer unsichtbarer Strahlenarten auf das Wachstum, wie z. B. Röntgen- und Radiumstrahlen, ist in letzter Zeit häufiger Gegenstand der Untersuchung gewesen. Durch X-Strahlen konnte Lopriore die Keimung von Pollenkörnern verhindern.¹⁾ Körnicke fand, daß die Röntgen- und Radiumstrahlen auf die Keimung der Samen von *Vicia Faba* und auf das Wurzelwachstum stark hemmend wirken.²⁾

Um nun speziell die Einwirkung des Lichtes von 280 $\mu\mu$ auf das Wachstum zu prüfen, konnte ich mich nicht größerer mehrzelliger Objekte, wie z. B. der Wurzelkeimlinge von *Vicia* bedienen, da der Beleuchtungsapparat ein zu kleines Bestrahlungsfeld gibt. Auch dringen die Strahlen von so kurzer Wellenlänge in einen so vielzelligen Organismus nicht tief ein; denn wie die Versuche über die Durchlässigkeit der einzelnen Zellelemente zeigen, sind Kutikula und Membran relativ sehr undurchlässig für diese Strahlen. Die Einwirkung würde sich also nur auf wenige Zellschichten der den Strahlen zugekehrten Seite des Organismus erstrecken, und wir würden im allgemeinen kein richtiges Bild von dem Einfluß des benutzten Lichtes auf das Wachstum des ganzen Organismus erhalten.

Als Versuchsobjekt nahm ich *Mucor stolonifer*, da hier zugleich die komplizierteren Verhältnisse chlorophyllhaltiger Pflanzen ausgeschlossen sind.

Die Einwirkung verschiedener Spektralbezirke auf das Wachstum der Pilze ist häufig untersucht worden.

Brefeld fand, daß besonders die blauen Strahlen bei der Entwicklung des Hutes bei *Coprinus* und für die Ausbildung der Sporangien von *Pilolobus* von Einfluß sind³⁾. Bei denselben Objekten untersuchte Gräntz auch die Beziehungen der ultravioletten Strahlen zur Fruktifikation⁴⁾. Die Kulturen befanden sich in Kästen, in deren Vorderwandungen mit Chininsulfatlösung gefüllte Flaschen eingefügt waren. Die Fruchträger entwickelten sich auch hier normal und fruktifizierten üppig.

Dieselbe Beobachtung machte Lendener bei *Mucor flavidus*. Er sagt: La suppression des rayons ultraviolets ne montre pas de différence, les cultures se comportant comme en pleine lumière!⁵⁾

Bei seinen Versuchen über die Einwirkung verschiedener Spektralbezirke auf die Synthese der Schimmelpilze versuchte Elfving ebenfalls, durch Ausschaltung der im Sonnenlicht enthaltenen ultravioletten Strahlen Aufschluß über ihre Wirksamkeit zu erhalten.⁶⁾ Kulturen von *Briaraea* in 2 % Apfelsäure setzte

1) Lopriore, G., Azione dei raggi sul protoplasma della cellula vegetale vivente: cit. n. Körnicke, Wirkung von Röntgenstrahlen auf Keimung und Wachstum. (Bericht. d. deutsch bot. Gesellschaft. 22, p. 149.)

2) l. c. p. 155.

3) Brefeld, Unters. über Schimmelpilze. IV. 1881. p. 77.

4) Gräntz, Einfluß d. Lichts auf d. Entwicklung einig. Pilze. Dissertation. Leipzig 1898. p. 19.

5) Lendener, Annal. des scien. naturel. Sér. VIII. T. 3. 1897. p. 16.

6) Elfving, Einwirkung d. Lichts a. d. Pilze. p. 45.

er unter doppelwandigen Glocken, von denen die einen Wasser, die andern Chininsulfatlösung enthielten, 7 Tage lang intensivem Sonnenlicht aus und bestimmte dann das Trockengewicht der Kulturen. Die Ausschaltung der ultravioletten Strahlen hatte hierbei die Ernte um das Zehnfache erhöht.

Genau messende Untersuchungen über das Wachstum der Pilzhyphen im Licht verschiedener Spektralbezirke hat Vines geliefert¹⁾. Er beleuchtete und verdunkelte die wachsenden Hyphen abwechselnd und stellte fest, daß die Strahlen größerer Brechbarkeit das Wachstum hemmen, die Strahlen geringerer Brechbarkeit aber wie Dunkelheit wirkten. Dabei zeigt sich eine Nachwirkung insofern, als die Wachstumsgeschwindigkeit während der Dunkelheit geringer ausfällt, wenn eine Lichtzeit vorangegangen ist.

Bei allen diesen Versuchen waren die Pilze Intensitäten ausgesetzt, unter denen sie sich immer noch, wenn auch manchmal nur kümmerlich, fortentwickeln konnten.

Über gänzliche Abtötung der Pilze sind nur Versuche mit dem Sonnenlicht gemacht worden. De Bary beobachtete im direkten Sonnenlicht bei *Peronospora infestans* nie eine Entwicklung.

Bei längerer Besonnung werden nach Elfving *Aspergillus glaucus* und nach Laurent die Sporen von *Ustilago carbo* getötet.²⁾

Die schädigende Wirkung der Wärmestrahlen ist hierbei nicht berücksichtigt worden. Sie waren bei der Schädigung aber wohl beteiligt, da nach Hilbrig bei einigen Schimmelpilzen Temperaturen von 34° C schon sehr wirksam sind.³⁾ Von diesem störenden Nebenumstand ist das Licht der Magnesiumlinie frei, und wir haben es daher hier mit einer reinen Lichtwirkung zu tun.

Zu den Versuchen wurden die in der Einleitung Seite 36 beschriebenen Gaskammern benutzt. Ich wandte sie so an, daß der Glasboden dem Objektiv zugekehrt und der aufschraubbare Deckel nach unten gerichtet war. Die Objekte waren in einem an der Glasplatte hängenden Tropfen verdünnten Pflaumendekokts ausgebreitet; durch seitliche Röhren wurde Wasser in die Kammern getan, um die Verdunstung zu verhüten. Es wurde darauf geachtet, daß bei den Bestrahlungen sich stets genau die gleiche Menge destillierten Wassers über dem Quarzdeckel befand. Durch Röhren mit dem Platindraht wurden die Sporen in verdünntem Pflaumendekokt zunächst möglichst gleichmäßig verteilt und dann ein Tropfen auf die Glasplatte der Gaskammern übertragen. Im hängenden Tropfen dürfen die Sporen nie übereinanderliegen, da durch darunterliegende Sporen die oberen von der Bestrahlung ausgeschlossen werden und das Resultat wertlos wird.

Keimung.

Im intensiven Licht (Sonnenlicht im Sommer) unterbleibt die Keimung bei *Aspergillus glaucus*. Die Sporen sind aber auch

¹⁾ Vines, Arbeit d. Inst. Würzburg. 1878. Bd. 2.

²⁾ cit. n. Pfeffer, Pflanzenphysiologie. II. p. 318.

³⁾ Hilbrig, Über d. Einfluß supramaximaler Temperatur auf d. Wachstum der Pflanzen. Dissertation. Leipzig 1900.

nach viertägiger Insolation noch nicht getötet.¹⁾ Durch Licht von 280 μ waren die Sporen von *Aspergillus* im hängenden Tropfen bei der Intensität 2,4 Amp. schon nach 14 Minuten getötet. 16 Minuten mit dieser Intensität bestrahlt keimten auch die Mukorsporen nicht mehr. Es fragt sich nun, wie schwächere Intensitäten die Keimung beeinflussen.

Ich ließ z. B. 2,4 Amp. diffus verschieden lange auf die eben in den hängenden Tropfen übertragenen Sporen einwirken. Die Keimung der bestrahlten Sporen trat je nach der Intensität und Dauer der Bestrahlung erheblich später ein als die der nicht bestrahlten, die ungefähr 3 $\frac{1}{2}$ Stunden nach der Aussaat unter konstanten Verhältnissen keimten. Für 30, 60 und 90 Minuten Bestrahlungsdauer erhielt ich folgende Resultate:

Die Aufzeichnungen in den Tabellen setzen mit dem Beginn der Keimung in den Kontrollkulturen ein. Die Zahl der gekeimten Sporen ist nach je 30 Minuten beobachtet und in Prozenten angegeben. Die fortlaufenden Ziffern zeigen halbe Stunden an. In der ersten Zeile der Tabellen ist die Anzahl der gekeimten Sporen in den bestrahlten Kulturen, in der zweiten Zeile die der Kontrollkulturen angegeben:

Dauer der Bestrahlung mit 2,4 Amp. (gleich nach der Aussaat bestrahlt)	Halbstunden	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
I. 30 Minuten.	Bestrahlte Sporen in %				5	19	27	42	60	79	87	94					
	Kontrolle in %	7	20	57	75	86	93										
II. 60 Minuten.	Bestrahlte Sporen in %					3	12	26	31	42	57	73	84	91			
	Kontrolle in %	23	45	63	80	85	97										
III. 90 Minuten.	Bestrahlte Sporen in %							2	3	5	10	25	32	40	59	74	85
	Kontrolle in %	10	25	40	50	65	90	100									

Bei den Versuchen wurde also durch das ultraviolette Licht die Keimung stark verzögert. In Versuch I keimte die Hauptmenge der Sporen ungefähr 2 $\frac{1}{2}$ Stunden später als die Kontrolle, in Versuch II 3 $\frac{1}{2}$ Stunden und in Versuch III 5 Stunden später. Bei 120 Minuten Dauer der Bestrahlung waren noch am nächsten Tage über 30% nicht gekeimt und zusammengeschrumpft.

Kurz vor der Keimung sind die Sporen empfindlicher gegen das Licht. Bestrahle ich sie erst 3 Stunden nach der Aussaat, so

¹⁾ Elfving, l. c. p. 105.

wurde die Keimung bei 30 Minuten langer Bestrahlung mit 2,4 Amp. diffus, derselben Intensität wie in Versuch I, um 3—4 Stunden verzögert:

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
IV. 30 Minuten bestrahlt kurz vor der Keimung.	Bestrahlte Sporen in %						10	20	25	30	33	42	70	93			
	Kontrolle in %	8	40	51	63	75	88	100									

Auch bei stärkeren Intensitäten kam diese größere Empfindlichkeit kurz vor der Keimung zur Geltung. Die Sporen keimten z. B. dann nicht mehr, wenn sie mit 2,4 Amp. (Brennpunkt) nur 10 Minuten lang bestrahlt wurden. Der Grund für die größere Empfindlichkeit der Sporen kurz vor der Keimung liegt wohl in Folgendem. Die eben ausgesäten Sporen sind klein und sehr undurchlässig. Die Absorption der Strahlen findet besonders an den ersten getroffenen Schichten statt, und die darüberliegenden Sporenteile werden geschützt. Die gequollenen dagegen bieten dem Licht eine größere Fläche dar und sind durchlässiger, so daß die Strahlen auf alle Teile mehr einwirken können. Schwächere Intensitäten als 2 Amp. diffus lassen bei Bestrahlungsdauer unter 30 Minuten keine hemmende Wirkung mehr erkennen, doch wird dieselbe bei längerer Bestrahlung wieder bemerkbar. Bei 60 Minuten Bestrahlung mit 1,9 Amp. diffus wird die Keimung um etwa 2 Stunden wieder verzögert. Bei 1,7 Amp. diffus mußte 90 Minuten bestrahlt werden, um überhaupt eine merkliche Wirkung zu erzielen. Eine Förderung der Keimung durch das ultraviolette Licht habe ich nie bemerkt.

War die Keimung der Sporen von *Mucor stolonifer* durch die schädigende Wirkung des ultravioletten Lichts verzögert, so zeigten die nun hervorwachsenden Hyphen stets normales Wachstum.

Wachstum der Hyphen.

Auf die Hyphen von *Mucor stolonifer* wirken aber schon viel geringere Intensitäten der ultravioletten Strahlen als auf die Sporen schädigend.

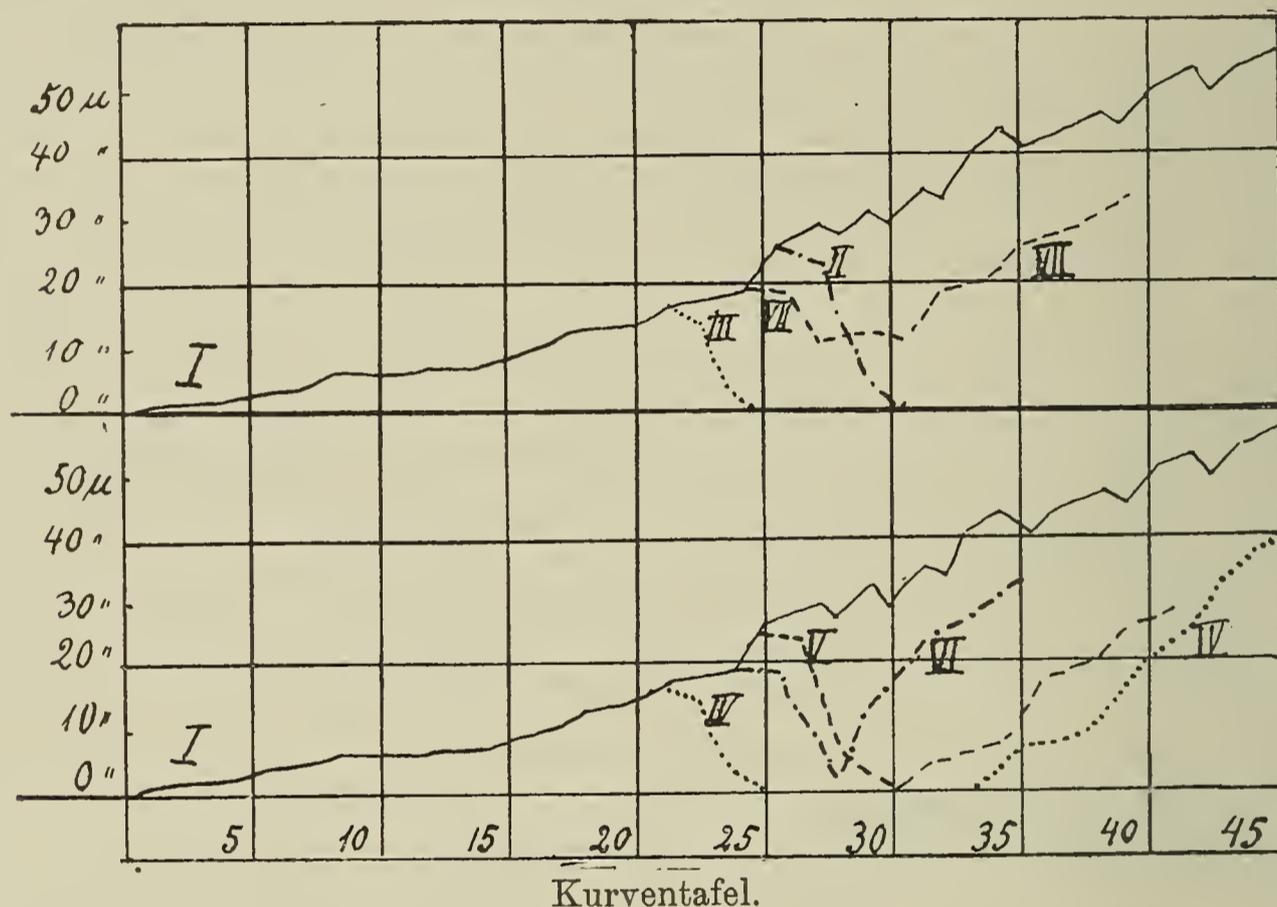
Bei den Untersuchungen über das Wachstum der Hyphen habe ich mit der Bestrahlung immer erst begonnen, wenn die Hyphen der Kultur durchschnittlich 150—200 μ lang waren.

Wenn ich die Hyphen mit 2,4 Amp. diffus einige Minuten lang bestrahlte, so zeigten sie bald nach der Bestrahlung kein Längenwachstum mehr. Die Hyphenenden schwollen an, und je nach der Dauer der Bestrahlung wurde das Wachstum nach verschieden langer Sistierungszeit wieder aufgenommen. Es machte sich also eine sehr starke Nachwirkung geltend. Um diese Erscheinungen näher zu studieren, wählte ich für die folgenden Versuche eine etwas schwächere Intensität, 2,1 Amp. diffus.

Zunächst orientierte ich mich über den Verlauf des Wachstums der Mukorhyphen, wenn sie unter möglichst konstanten Bedingungen

in der feuchten Kammer gehalten wurden. Die Temperatur des Zimmers war 22° C. Die Objekte wurden ständig auch während der Bestrahlung durch die seitlich vom Beleuchtungsapparat stehende Glühlampe beleuchtet.

Für die ersten zehn Stunden — so lange nur beobachtete ich die wachsenden Hyphen — zeigten dieselben eine stete Steigerung der Wachstumsgeschwindigkeit. Dieselbe Beobachtung hat Vines bei *Phycomyces nitens* gemacht, der aber die Messung weiter ausdehnte.¹⁾ Er fand eine Steigerung der Wachstumsgeschwindigkeit bis zur Erreichung eines Maximums, das dann mit geringfügigen Schwankungen einige Zeit hindurch beibehalten wird. Die Steigerung konnte ich bei allen Hyphen beobachten. Sie zeigen



aber oft ganz erhebliche Abweichungen in der Wachstumsgeschwindigkeit voneinander. Es wurden daher, um einen brauchbaren Mittelwert zu erhalten, eine große Zahl von Beobachtungen gemacht. Die Ergebnisse der Messungen sind zur besseren Übersicht und zum Vergleich mit dem Wachstumsverlauf bei den bestrahlten Hyphen in Kurven dargestellt (s. Tafel). In der Normalkurve I ist auch das Wachstum der für jeden Versuch meist mehrfach angesetzten Kontrollkulturen berücksichtigt.

In der Tafel geben die Zahlen von 5—45 Viertelstunden, die Bezeichnungen $10\ \mu$, $20\ \mu$ etc., die an den Horizontalen stehen, die Zuwachsgrößen an.

Bei einer Bestrahlung mit 2,1 Amp. diffus wird das Wachstum der Hyphen sogleich in der ersten Viertelstunde deutlich verzögert. In der zweiten Viertelstunde aber ist die Verzögerung sehr viel stärker, und nach 34 Minuten zeigen die Hyphen kein

¹⁾ Vines, Arbeiten d. bot. Instituts z. Würzburg. Bd. 2. 1878. p. 136.

Wachstum mehr (Kurve III). Nur 20 oder 25 Minuten bestrahlt wachsen die Hyphen noch ein wenig weiter, und erst nach 10—20 Minuten nach der Bestrahlung wird das Wachstum ganz eingestellt und nach etwa 5—7 Stunden erst wieder aufgenommen. 15 Minuten der gleich intensiven Bestrahlung ausgesetzt ist die Wachstumshemmung gleich zuerst wieder deutlich wie in den vorigen Versuchen, wird aber nach der Bestrahlung in der zweiten Viertelstunde noch viel stärker, so daß die Wachstumskurve IV für diesen Versuch einen ähnlichen Verlauf zeigt wie Kurve III, wo die Hyphen bis zur Sistierung bestrahlt wurden. Das Wachstum hört aber hier erst 35—40 Minuten nach der Bestrahlung ganz auf. Nach einer Ruhepause von $1\frac{1}{2}$ —2 Stunden wird es wieder aufgenommen. Die Hyphen zeigen dann ein verhältnismäßig schnelles Zunehmen der Zuwachsgrößen.

Die erhebliche Nachwirkung, die wir in diesem Versuche durch die Bestrahlung herbeigeführt sehen, tritt auch bei Bestrahlungen von viel kürzerer Dauer noch deutlich hervor. 5, $2\frac{1}{2}$ und 1 Minute mit 2,1 Amp. diffus bestrahlt, tritt die Wachstums Sistierung der Mycelfäden zwar nicht mehr so allgemein und deutlich auf, aber eine stark schädigende Wirkung des ultravioletten Lichts ist auch dann noch zu beobachten. Bei 5 und $2\frac{1}{2}$ Minuten Belichtungsdauer (Kurven V und VI) sehen wir sogar in der ersten Viertelstunde nach der Bestrahlung nicht einmal ein Abnehmen der Zuwachsgrößen, dann aber folgt auch hier das schnelle Zurückgehen des Wachstums, wie Kurve IV für 15 Minuten lange Bestrahlung es zeigt. Bei den meisten Hyphen, bei 5 Minuten Bestrahlung fast bei allen, ist dann etwa 60 Minuten später 5—10 Minuten lang kein Längenwachstum zu beobachten. Außerordentlich schädigend wirkt das Licht von $280\ \mu\mu$ bei dieser Intensität auch noch bei einer Einwirkung von nur einer Minute. Sistiert wird das Wachstum hier aber nicht mehr, sondern die Hyphen zeigen nur eine Zeitlang eine geringere Wachstumsgeschwindigkeit (Kurve VII). Nach etwa 90 Minuten ist die Schädigung überwunden und die Wachstumstätigkeit wird wieder lebhafter.

Bei schwächeren Intensitäten treten dieselben Hemmungserscheinungen hervor, wenn demgemäß die Dauer der Bestrahlung verlängert wird. So gelingt es bei 1,7 Amp. diffus erst nach 68 Minuten das Wachstum zu sistieren (Kurve II); auch die schwächsten Intensitäten, die ich anwendete, erwiesen sich als schädlich für die Hyphen. Wenn ich die Objekte bestrahlte und verdunkelte in $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{2}$ stündigem Wechsel, wie Vines und Stameroff¹⁾ operierten, so trat bei allen Versuchen auch hier Verzögerung und Sistierung ein, eine fördernde Wirkung konnte ich nie beobachten.

Die wachstumshemmende Wirkung des ultravioletten Lichts läßt sich aus diesen Versuchen deutlich erkennen. Das Wachstum wird nicht nur unter dauernder Bestrahlung eingestellt, sondern auch wenn das Licht nur kurze Zeit einwirkte. Auffallend ist es, daß das Wachstum bei verschiedener Dauer der Bestrahlung ziemlich

¹⁾ Stameroff, Flora. Bd. 83. 1897.

gleichmäßig verzögert wird. Das tritt auch in den Kurven deutlich hervor. Mögen die Hyphen nur 1', 2 $\frac{1}{2}$ ' etc. oder bis zur Sistierung bestrahlt werden, so ist bei der gleichen Intensität 2,1 Amp. diffus das Wachstumsminimum stets in 35—75 Minuten erreicht. Bei allen dargestellten Versuchen ist die Schädigung zuerst nicht so stark, und erst nach einiger Zeit nimmt das Wachstum rapider ab. Nicht nur bei den Kurven II und III, wo die Hyphen bis zur Sistierung bestrahlt wurden, sondern auch in Kurve IV (15 Minuten bestrahlt), sehen wir ein steileres Abfallen der Wachstumskurve erst nach der Bestrahlung. Ja, bei den Bestrahlungszeiten von 1, 2 $\frac{1}{2}$ und 5 Minuten behalten die Hyphen in der ersten Viertelstunde nach der Bestrahlung ihre Wachstumsgeschwindigkeit bei, und dann erst geht das Wachstum schnell zurück. Die verschiedene Dauer der Bestrahlung macht sich nur in der Länge der Sistierungszeit oder einer Abnahme der Wachstumsgeschwindigkeit geltend.

Nach dem Stillstand wird das Wachstum ziemlich schnell und gleichmäßig aufgenommen, wie auch die Kurven zeigen. Bei den Wachstumskurven der bestrahlten Hyphen treten dann nicht so erhebliche Schwankungen auf wie in der Normalkurve I.

Im Anschluß hieran möchte ich die Beobachtungen Körnickes über die Wirkung von Röntgenstrahlen auf Wurzelkeimlinge anführen. Er sagt: Nach der Bestrahlung ist zunächst nichts von einer Wachstumshemmung zu bemerken, ja es scheint sogar eine Wachstumsbeschleunigung auf die Bestrahlung zu erfolgen. Die Hemmung tritt immer erst einige Zeit nach der Bestrahlung ein.¹⁾

Verschiedene Einflüsse, wie z. B. Sauerstoffwegnahme, Wasserentziehung, hohe und niedere Temperatur, können das Wachstum zum Stillstand bringen und dann auf kurze Zeit noch ertragen werden, ohne sogleich tödlich zu wirken. Bei stärkeren Intensitäten konnte ich kein Intervall zwischen Sistierung und Abtötung der Hyphen beobachten, aber vielleicht wirkte hier schon ein geringes Überschreiten des Sistierungspunktes tödlich. Dasselbe Resultat erhielt ich jedoch auch bei der Bestrahlung mit schwächeren Intensitäten wie 2,1, 1,7, 1,5 Amp. diffus, die erst nach längerer Zeit Wachstumsstillstand bewirkten. Die Hyphen wurden nach je 5 Minuten gemessen und die Bestrahlung unterbrochen, wenn zwei Messungen dieselben Längenwerte ergaben. Das Längenwachstum wurde bei

2,4 Amp. diffus	nach 17 Minuten,	1,7 Amp. diffus	nach 69 Minuten
2,1 „ „ „	34 „	1,5 „ „ „	120 „

eingestellt.

Auch nach mehreren Tagen hatten diese Hyphen das Wachstum nicht fortgesetzt. Sie zeigten eine grobmaschige Plasmastruktur und die Enden stumpf abgerundet. Das Leben in den Sporen war aber durch diese Bestrahlung noch nicht vernichtet, aus ihnen treten neue Hyphen hervor. Die sistierten Hyphen heben sich aber durch Plasmastruktur und größere Breite gegen die neugebildeten deutlich ab.

¹⁾ Körnicke, l. c. p. 155.

Die Veränderung der Plasmastruktur und der Form der Hyphen wird bei allen Bestrahlungen sichtbar. Bei starker Intensität, z. B. 2,1 Amp (Brennpunkt), kontrahiert sich das Plasma der Hyphen sofort sehr stark, und lange Vakuolen wechseln mit Plasmapropfen ab. Aber auch bei Intensitäten, die nicht so schnell auf die Hyphen tödlich wirken, wird bei längerer Dauer während der Bestrahlung, bei kürzerer nach derselben die Schädigung stets auch durch Veränderung des Plasmas und der Hyphenform sichtbar. Das Plasma verliert die feinkörnige Struktur, es bilden sich viele Vakuolen, und schließlich durchzieht es in vielen Querleisten die Zelle, und seine Struktur erscheint maschig-netzförmig. Dieselben Strukturveränderungen beobachtete auch Schröter, besonders bei starker Beleuchtung der Mukorhyphen mit Gasglühlicht.¹⁾ — Die bestrahlten Hyphen verbreitern sich meist auf das Doppelte der normal wachsenden, runden sich an den Enden ab und schwellen dort kugel- oder keulenförmig an. Diese Formveränderungen gehen oft erst 30 Minuten nach der Bestrahlung vor sich. Dann tritt, sofern die Hyphe nicht zu lange bestrahlt wurde, nach einer Zeit, die je nach Dauer und Intensität der Bestrahlung verschieden ist, eine kleine mit hellweißer Plasmamasse erfüllte Spitze aus der breiten, runden Endanschwellung der bestrahlten Hyphe hervor. Diese nimmt dann in der von den Kurven bezeichneten Weise das Wachstum wieder auf. Die maschige Plasmastruktur und die größere Breite behält der bestrahlte Hyphenteil bei.

Bei einigen der sistierten Hyphen platzten die Endanschwellungen während des Wachstumsstillstandes; seltener waren die Hyphen dicht hinter der Spore geplatzt. Der Inhalt war dann in dicken Plasmaklumpen ausgetreten. Hauptsächlich an diesen beiden Stellen wachsen, nachdem der Stillstand überwunden ist, die neuen Hyphen hervor.

Was nun das Platzen und Anschwellen der Pilzhyphen betrifft, so sehen wir es auch bei vielen anderen Einflüssen eintreten. Jede Ursache, sagt Pantanelli, die das Wachstum zum Stillstand bringt, kann auch ein Platzen der Zelle bewirken. Im allgemeinen pflegen jene Mittel, die die Permeabilität der Plasmamembran steigern, das Platzen zu fördern, indem die äußere Flüssigkeit in die Zelle eindringt, dort den Druck vermehrt und die Explosion bewirkt. Als begleitendes Phänomen bei jeder Wachstumshemmung führt er die passive Erweiterung der Spitze bei Pilzhyphen und Pollenschläuchen an.²⁾

Das Bild, das sich nach diesen Versuchen von dem Einfluß der Strahlen von 280 μ Wellenlänge auf Sporen und Mycelfäden von *Mucor stolonifer* bietet, ist folgendes:

Das Licht wirkt auf die Keimung der Sporen und das Wachstum der Hyphen stark hemmend ein.

¹⁾ Schröter, Über Protoplasmaströmung bei Mucorineen. (Flora. Ergänzungsband. 1905. p. 12.)

²⁾ Pantanelli, Enrico, Contribuzioni a la meccanica dell' accrescimento. (Ann. di Bot. II. Roma 1905. Cit. n. Just, Bot. Jahresber. 1907. I. p. 323.)

Die Mycelfäden sind empfindlicher gegen das Licht als die Sporen. Werden die wachsenden Hyphen bis zur völligen Sistierung bestrahlt, so wachsen sie nicht mehr weiter. Bei kürzeren Bestrahlungszeiten machen sich sehr starke Nachwirkungen bemerkbar.

Eine Schädigung durch die Bestrahlung tritt sofort auf. Das Wachstum der Hyphen wird aber oft erst längere Zeit nach der Bestrahlung ganz eingestellt.

Nicht bis zur Sistierung bestrahlt, nehmen die Hyphen das Wachstum nach einer Zeit des Stillstandes wieder auf.

Einwirkung der Strahlen von 280 $\mu\mu$ Wellenlänge auf die Zellteilung von *Tradescantia virginica*.

Da die ultravioletten Strahlen eine so stark hemmende Wirkung auf das Wachstum der Pilzhypen ausüben, so wollte ich auch ihre Wirkung auf die Zellvermehrung höherer Pflanzen untersuchen. Ein günstiges Objekt, direkt unter dem Mikroskop die Einwirkung der Strahlen auf Kern und Zellteilung zu verfolgen, gaben die Zellen junger Staubfadenhaare von *Tradescantia virginica*.

Die Einwirkung des Lichts der Magnesiumlinie auf die Zellteilung hat Hertel an befruchteten Seeigelleiern untersucht und gefunden, „daß die verwendeten ultravioletten Strahlen auf die Teilung der Eizelle, gleichgiltig, ob diese sich im ein- oder mehrzelligen Stadium befand, einen ungünstigen Einfluß ausübten. Bestrahlungen von ganz kurzer Dauer und geringer Intensität riefen zum mindesten eine starke Verzögerung des Eintritts der zu erwartenden Furchungsphase im Vergleich zu den Normalzellen hervor.¹⁾ Eine schädigende Wirkung intensiven Lichts auf die Zellteilung wurde von Lohmann bei *Saccharomyces* beobachtet,²⁾ und durch Radiumstrahlen hat Zuelzer die Kernteilung bei Infusorien verhindern können.³⁾

Zur Beobachtung nahm ich nur Haarzellen aus frisch abgeschnittenen Knospen, so daß sich noch keinerlei Absterbeerscheinungen geltend machten. Auch wurden nur Haare, die der Seite 45 bezeichneten Altersstufe I entsprechen, gewählt, da gerade bei diesen die Spitzenzellen und auch die proximal gelegenen älteren in lebhafter Teilung sich befinden.

Wenn wir von den ziemlich langdauernden vorbereitenden Kernveränderungen absehen, so zeigen sich die ersten deutlichen Strukturveränderungen der sich teilenden Zelle im Knäuelstadium des Kerns, und darnach geht der eigentliche Kern- und Zellteilungsprozeß ziemlich schnell vor sich, so daß gerade diese Stadien sich zur Beobachtung der Wirkung äußerer Einflüsse gut eignen.

¹⁾ Hertel, Über d. Einw. d. Lichtstrahlen auf den Zellteilungsprozeß. (Zeitschrift f. allg. Physiologie. Bd. 5. 1905. p. 551.)

²⁾ Lohmann, Über d. Einfluß intens. Lichtes d. Zellteilung von *Saccharomyces*. Dissertation. Rostock 1896.

³⁾ Zuelzer, Über d. Einwirkung von Radiumstrahlen auf Protozoen. (Archiv f. Protistenk. Bd. 5. 1905. p. 366.)

Die Haare wurden mit dem Filament abgetrennt und in 3% Zuckerlösung unter Deckglas beobachtet. Die Zeitdauer, in der die einzelnen Stadien der Zellteilung unter diesen Verhältnissen vom Knäuelstadium an durchlaufen werden, ist dann folgende:

- 9¹⁵ h Knäuel.
- 9³⁰ h Mutterstern.
- 9⁴⁰ h Teilung des Muttersterns vollendet.
- 9⁵⁵ h Tochtersterne, weiter auseinandergerückt.
- 10¹⁰ h Sehr zarte Zellscheidewand gebildet.
- 10²⁰ h Scheidewand vollkommen ausgebildet. Chromosomen noch deutlich.
- 10⁴⁰ h Chromosomen nicht mehr zu erkennen. Teilung vollendet.

Wie wir schon oben gesehen haben, zieht sich bei Bestrahlung mit stärkeren Intensitäten das Plasma in den jungen Haarzellen an Kern und Zellwände zurück. Durch die entstehenden Vakuolen werden z. B. auseinandergerückte Tochterkerne wieder zusammengedrückt, oder eine Vakuole, die zwischen den eben getrennten Tochtersternen auftritt, drängt sie auseinander nach den Ouerwänden der Zelle. Eine Fortsetzung der Teilung findet dann nicht mehr statt. Um den Verlauf des Zellteilungsprozesses unter der Einwirkung des ultravioletten Lichts beobachten zu können, mußte ich zu bedeutend schwächeren Intensitäten übergehen, wie ich sie zur Bestrahlung der Pilzhyphen angewendet hatte. Im folgenden gebe ich einige typische Protokolle wieder. In ihnen sind die Zeiten, in denen die Objekte bestrahlt wurden, durch eine Klammer bezeichnet. Wo sich Angaben über die Plasmaströmung in den Protokollen finden, da ist dieselbe stets an den nächstgelegenen älteren Zellen beobachtet, da die in Teilung befindlichen Zellen dieselbe nicht zeigen.

1. Versuch mit sehr schwacher Intensität im primären Strom, 1,7 Amp. diffus. Bestrahlungsdauer 30 Minuten, von 10²⁰ h—10⁵⁰ h.

- | | | |
|---|--------------------|---|
| | 10 h Zelle | a. Mutterstern, b. Knäuelstadium. |
| | 10 ¹⁰ h | a. Teilung des Muttersterns. b. Umwandlung in den Mutterstern. |
| } | 10 ²⁰ h | a. Tochtersterne auseinandergerückt. |
| | | b. Teilung des Muttersterns. Beginn der Bestrahlung. |
| } | 10 ³⁰ h | a. Zellplatte gebildet. Chromosomen noch zu unterscheiden. |
| | | b. Tochtersterne getrennt. |
| } | 10 ⁴⁰ h | a. Zellscheidewand gebildet. Chromosomen undeutlich. |
| | | b. Tochtersterne nicht weiter auseinandergerückt. |
| } | 10 ⁵⁰ h | a. Kerne abgerundet. Chromosomen nicht mehr zu erkennen. |
| | | b. Tochtersterne nicht weiter auseinandergerückt. Schluß der Bestrahlung. Plasmaströmung in den Nachbarzellen nicht sistiert. |

- 11 h b. Tochtersterne nicht weiter auseinandergerückt.
 11²⁰ h b. Zarte Scheidewand gebildet. Chromosomen noch
 zu unterscheiden.
 11³⁵ h b. Kerne abgerundet. Chromosomen undeutlich.

Die Zelle a, in der die eigentliche Kernteilung schon vor sich gegangen ist als die Bestrahlung einsetzt, bildet die Zellscheidewand in normaler Zeit aus. Die Trennung der Tochtersterne geht auch bei b noch unter der Bestrahlung vor sich, dann aber tritt bei weiterer Bestrahlung Stillstand ein, obwohl die Plasmaströmung in den Nachbarzellen nicht sistiert ist. Das Plasma nimmt aber bald wieder seine Tätigkeit auf; die Zellscheidewand wird mit etwa 30 Minuten Verzögerung gegen die normale Zeit ausgebildet, und zugleich gehen die Tochtersterne zum Ruhestadium über.

Wurde mit der gleichen Intensität kürzere Zeit nur etwa 15 Minuten oder weniger bestrahlt, so verlief der Teilungsprozeß stets ohne merkliche Schädigung in normaler Zeit, in welcher Teilungsphase ich auch die Bestrahlung beginnen ließ. Bei schwächeren Intensitäten als 1,7 Amp. diffus tritt die Schädigung erst wieder deutlicher hervor, wenn wir demgemäß längere Zeit bestrahlen. Bei vielen Beobachtungen war mir aufgefallen, daß wohl der Mutterstern sich während der Bestrahlung in die Tochtersterne trennte, ohne daß diese dann weiter auseinanderrückten. Auch ließ oft, wenn die Tochterkerne schon die runde Form ruhender Kerne angenommen hatten, sich besonders eine Verzögerung in der Bildung der Zellscheidewand erkennen. Ich richtete daher mein Augenmerk auf das Verhältnis, in dem Kern und Cytoplasma von den ultravioletten Strahlen beeinflußt werden. Im folgenden will ich einige Protokolle, die besonders für diese Frage in Betracht kommen wiedergeben.

2. Versuch mit etwas stärkerer Intensität als in 1. 2,1 Amp. im primären Strom, diffus. Bestrahlungsdauer 30 Minuten von 8¹⁰ h — 8⁴⁰ h.

- 8 h Zelle a. Teilung des Muttersterns.
 { 8¹⁰ h Tochtersterne getrennt.
 { 8³⁰ h Tochtersterne auseinandergerückt.
 { 8⁴⁰ h Tochtersterne nicht weiter auseinandergerückt.
 Es treten größere Vakuolen auf. Kerne dadurch wieder zusammengedrängt.
 9 h a. unverändert, Plasmaströmung in den Nachbarzellen deutlich.
 9²⁰ h Vakuolen kleiner. Kerne etwas auseinandergerückt.
 Dichte Plasmamassen haben sich zwischen sie geschoben.
 9³⁰ h Ein Kern abgerundet, in dem andern sind noch undeutlich Chromosomen zu unterscheiden. Breites Plasmaband zwischen ihnen quer durch die Zelle.
 10 h Wandbildung nicht weiter fortgeschritten.
 Kerne haben ihre Lage zueinander geändert.

- 12 h Plasma jetzt regelmäßiger über die Zelle verteilt. Beide Kerne abgerundet. Chromosomen nicht mehr zu erkennen. (Fig. 8, Taf. II.)
Wandbildung nicht weiter fortgeschritten.
- 2 h Kerne haben ihre Lage zueinander verändert. Keine Scheidewand.
- 5 h Unverändert. Plasmaströmung in den Nachbarzellen deutlich.

Die Zellteilung wird hier nicht nur eine Zeit lang sistiert, sondern ganz verhindert; denn auch am Tage nach der Beobachtung hatte sich keine Zellscheidewand gebildet, und die Zellen waren abgestorben. Gleich nach dem Zurückgehen der Vakuolen sehen wir einen Kern sich abrunden, während der andere erst später in das Ruhestadium übergeht. Das Plasma lebt nach einer Erholungszeit wieder auf, was daraus zu ersehen ist, daß es sich wieder gleichmäßiger über die Zelle verteilt und daß die Kerne ihre Lage mehrmals verändern. Zur Membranbildung ist es aber nicht mehr fähig. In den Nachbarzellen hatte die Plasmaströmung während der Beobachtung nicht aufgehört.

Ein ähnliches Resultat lieferte ein anderer Versuch mit etwas stärkerer Intensität, wobei dann demgemäß kürzere Zeit bestrahlt wurde.

3. Versuch. 2,4 Amp. in primären Strom, diffus. Bestrahlungsdauer 10 Minuten von 11¹⁰ h bis 11²⁰ h.

- 11 h Zelle a. Tochtersterne gerade getrennt.
- { 11¹⁰ h Tochtersterne weiter auseinandergerückt.
- { 11²⁰ h Vakuolen gebildet. Tochtersterne wieder zusammengedrängt.
Plasmaströmung in den Nachbarzellen erhalten.
- 11³⁰ h Unverändert. Chromosomen deutlich.
- 12 h Vakuolen klein. Kerne deutlich getrennt voneinander.
- 1 h Kerne weiter auseinandergerückt.
- 2 h Plasma wieder gleichmäßig über die Zelle verteilt.
- 3 h Ein Kern abgerundet; der andere sternförmig, die Chromosomen nach allen Richtungen vom Kernkörperchen ausstrahlend.
- 3³⁰ h Die Chromosomen des vorher sternförmigen Kerns haben wieder normale Lage angenommen.
- 4 h Kern abgerundet. Chromosomen nicht mehr zu erkennen. Dichte Plasmamassen zwischen ihnen.
- 4³⁰ h Zarte Zellscheidewand gebildet.
- 5 h Normale Zellscheidewand gebildet.

Auch hier macht sich die schädigende Wirkung der Strahlen in einer erheblichen Verzögerung der Zellteilung geltend. Diese kommt auch darin noch zum Ausdruck, daß der eine Kern nach dem Zurückgehen der Vakuolen noch eine Zeit eine ganz anormale

Lage annimmt. Solche Unregelmäßigkeiten wurden häufig beobachtet, wenn der Zellteilungsprozeß nach dem Stillstand fortgesetzt wurde. Außer unregelmäßiger Lagerung einzelner Chromosomen bestehen sie meist darin, daß die neue Membran nicht quer durch die Zelle ausgebildet wird, sondern oft gebogen oder etwas schräg zur Längsachse der Zelle sich bildet, oder die eine Seite der Wand hat die normale Querrichtung, während die andere schräg zur Längsachse ausgebildet wird, so daß die Scheidewand einen Knick aufweist.

Die Zellwandbildung ist im vorstehenden Versuch um 5 Stunden verzögert. Die Tochtersterne haben sich schon vorher abgerundet und die Form ruhender Kerne angenommen.

Bei allen Versuchen mit gleicher Bestrahlung wie in Versuch 2 und 3 setzten Netz- und Knäuelstadien niemals ihre Teilung fort, sondern der im Knäuel schon differenzierte Kernfaden schien oft nach der Bestrahlung wieder undeutlicher zu werden. Nur bei Bestrahlung von Muttersternstadien, oder wenn die Kernteilung noch weiter vorgeschritten war, bildeten sich, wie wir oben sahen, die getrennten Chromosomen zu zwei Tochterkernen um, wobei dann die Zellscheidewand zuweilen garnicht oder mitunter unregelmäßig ausgebildet wurde.

Den Schluß aber, daß das Plasma empfindlicher gegen das verwendete Licht sei als der Kern, glaube ich aus diesen letzteren Beobachtungen nicht ziehen zu dürfen. Zweifellos wird wie das Plasma auch die Kernsubstanz, die das kurzwellige Licht stark absorbiert, durch die Bestrahlung geschädigt. Doch tritt diese Schädigung zunächst nicht deutlich hervor; denn durch die bei der Bestrahlung auftretende Spannung des Plasmas und durch die Vakuolenbildung wird oft die Lage der Chromosomen und Kerne geändert; und dieselben werden in dieser Lage festgehalten. Wenn aber dann die Spannung des Plasmas nachgelassen und es sich wieder regelmäßig in der Zelle verteilt hat, so setzen Netz- und Knäuelstadien die Teilung niemals fort, sondern scheinen vielmehr zum Ruhestadium zurückzukehren. Bei den weiter fortgeschrittenen Kernteilungsstadien aber sehen wir sofort nach dem Zurückgehen der Spannung im Plasma und der Vakuolenbildung an den Tochtersternen das Bestreben, sich abzurunden und ebenfalls zum Ruhestadium überzugehen. Wir hätten darnach in dieser Umbildung der Tochtersterne zur Form ruhender Kerne nach der Bestrahlung also nicht die normale Vollendung der Kernteilung sondern einen pathologischen Prozeß zu sehen.

Die Beobachtung, daß in Zellen, die während eines vorgeschrittenen Stadiums der Mitose geschädigt wurden, wohl zwei Kerne aber keine Scheidewand gebildet wurden, ist häufig gemacht worden. Daß wir aber in diesen Kernfiguren eine Rückbildungserscheinung zu sehen haben, ist erst von Němec¹⁾ und O. Nabokisch²⁾ ausgesprochen worden.

¹⁾ Němec, Über die Einwirkung d. Chloralhydrats auf die Kern- und Zellteilung. (Jahrb. für wissensch. Botanik. Bd. 39. p. 645.)

²⁾ Nabokisch, O., Über anaerobe Zellteilung. (Ber. d. D. bot. Gesellschaft. 22. p. 62.)

Aus den Untersuchungen ersehen wir, daß schon Intensitäten, die der Plasmaströmung nicht merkbar schaden, auf den Zellteilungsvorgang außerordentlich verzögernd wirken. Es erweist sich also das Plasma während des Zellteilungsvorganges empfindlicher als in den nicht in Teilung befindlichen Zellen. In den Versuchen 1, 2 und 3 blieb während und nach der Bestrahlung die Plasmaströmung vollkommen erhalten, während das Plasma der Teilungszellen so starke Schädigung aufwies, daß die Bildung der Zellscheidewand stark verzögert wurde, ja im zweiten Versuch sogar vollständig unterblieb.

Die große Empfindlichkeit der jungen sich teilenden Haarzellen gegen das ultraviolette Licht wird besonders deutlich, wenn wir z. B. die Intensitäten, die hier eine so schwere Schädigung im Zellteilungsvorgang hervorrufen, mit denen, die die Sistierung der Plasmaströmung in den älteren violetten Haarzellen bewirken, vergleichen. Die Hyphen von *Mucor stolonifer* waren allerdings noch empfindlicher.

Figurenerklärung.

Tafel I.

Fig. 1. Querschnitt durch den Zentralzylinder einer Wurzel von *Iris germanica*. Aufgenommen mit ultraviolettem Licht.

Fig. 2. Desgl. Aufgenommen mit weißem Licht.

Fig. 3. Endodermiszelle aus Fig. 1 stark vergrößert. Aufgenommen mit u.-v. Licht.

Fig. 4. Desgl. Aufgenommen mit weißem Licht.

Fig. 5. Querschnitt durch einen Zweig von *Plectranthus fruticosus*. Aufgenommen mit u.-v. Licht.

Fig. 6. Kern einer Staubfadenhaarzelle von *Tradescantia virginica* im Knäuelstadium. Aufgen. mit u.-v. Licht.

Fig. 7. Kernteilung in einer Haarzelle von *Tradesc. virg.* Tochterkerne von einer besonderen Plasmahülle umgeben. Aufgen. mit u.-v. Licht.

Tafel II.

Fig. 1. Querschnitt durch eine Bastgruppe eines Zweiges von *Sambucus nigra*. Aufgen. mit u.-v. Licht.

Fig. 2. Kernteilung einer Staubfadenhaarzelle von *Tradesc. virg.* Aufgenommen mit u.-v. Licht.

Fig. 3. Prothalliumzelle von *Pteris aquil.* Chlorophyllkörner mit Randring. Aufgen. mit u.-v. Licht.

Fig. 4. Stärkekorn der Kartoffel. In der Nähe der Längsachse radiäre Streifen. Aufgen. mit u.-v. Licht.

Fig. 5. *Chlamydomonas* stark und lange bestrahlt. Bild am Rande des Bestrahlungsfeldes. Aufgenommen mit weißem Licht.

Fig. 6. *Chlamydomonas* stark und lange bestrahlt. Bild aus der Mitte des Bestrahlungsfeldes. Aufgenommen mit weißem Licht.

Fig. 7. *Spirogyra setif.* Stark bestrahlt. Bild zeigt die Wirkung in der Mitte und am Rande des Brennpunktes der u.-v. Strahlen. Aufgen. mit weißem Licht.

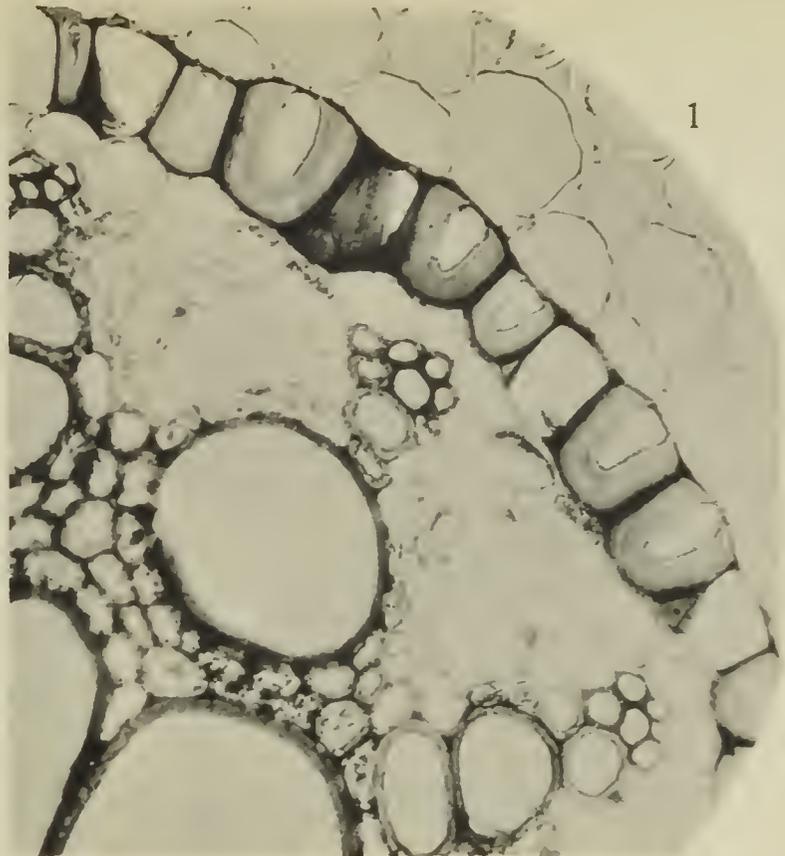
Fig. 8. Haarzelle von *Tradesc. virg.* mit zwei Kernen. Aufgen. mit weißem Licht.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, Herrn Geheimen Regierungsrat Professor Dr. Kny, unter dessen gütiger Leitung ich im pflanzenphysiologischen Institut der Universität Berlin mehrere Semester gearbeitet habe, für die Teilnahme an meinen Untersuchungen meinen besten Dank auszusprechen.

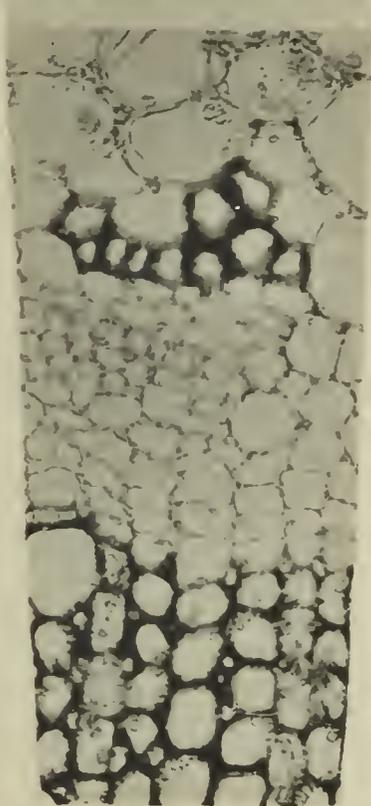
Auch den Assistenten Herren Dr. W. Magnus und Dr. Wächter bin ich für die freundlichen Unterstützungen bei Anfertigung dieser Arbeit zu Dank verpflichtet.



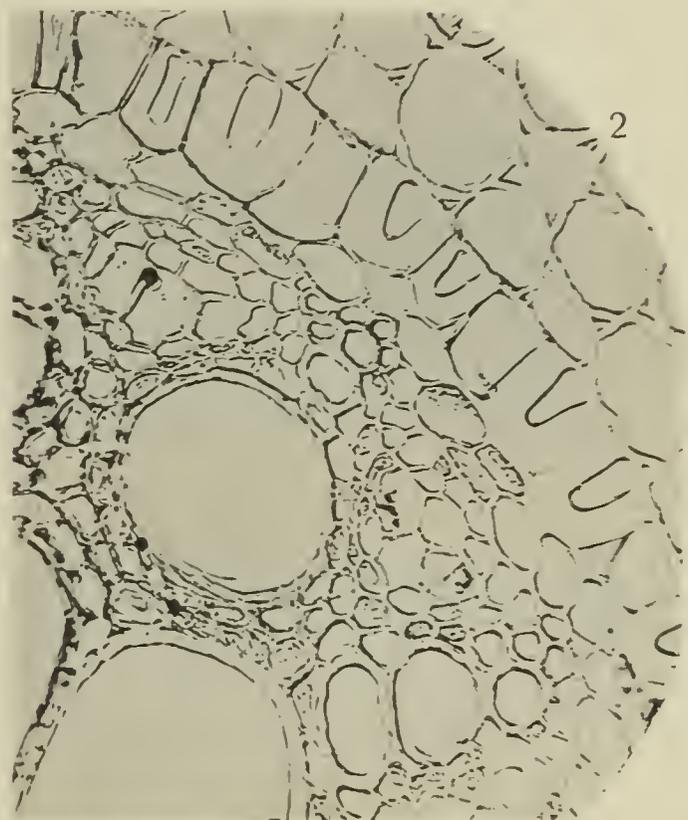
5



1



6



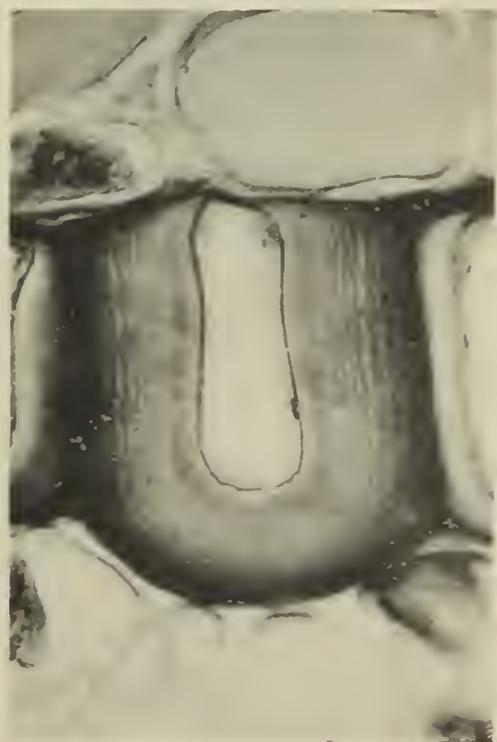
2



4

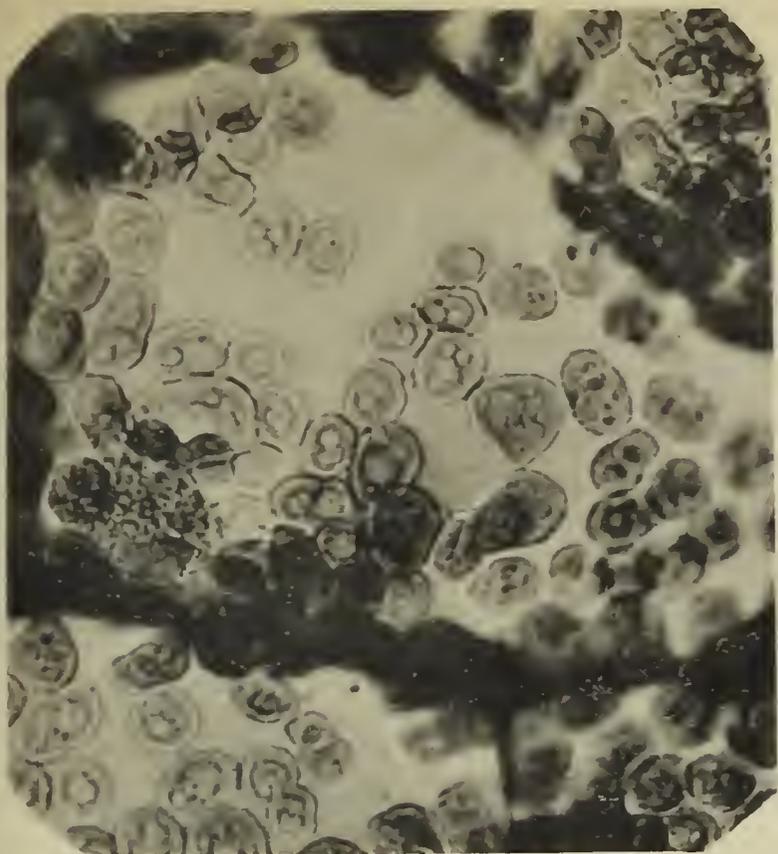


7

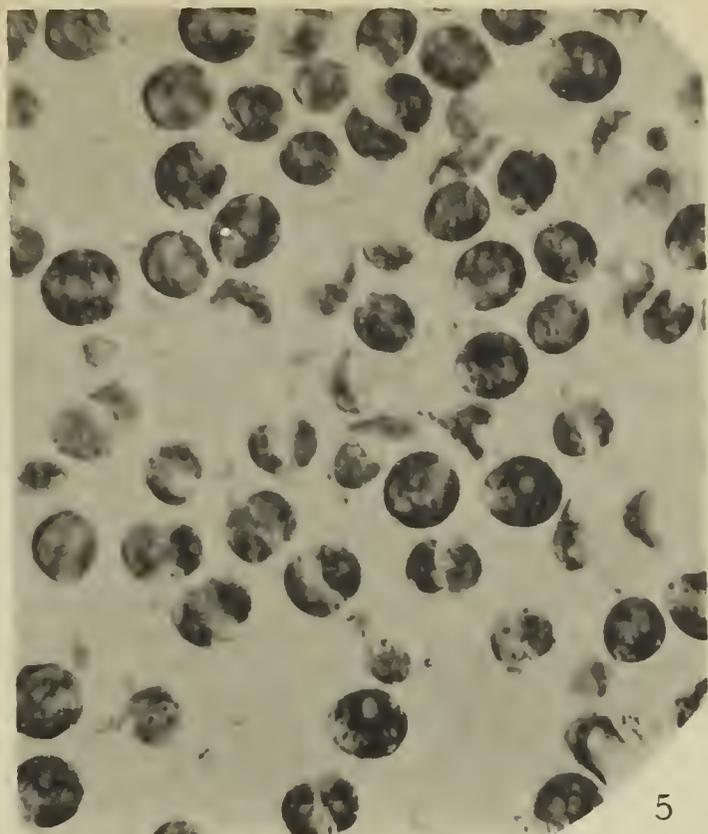


3





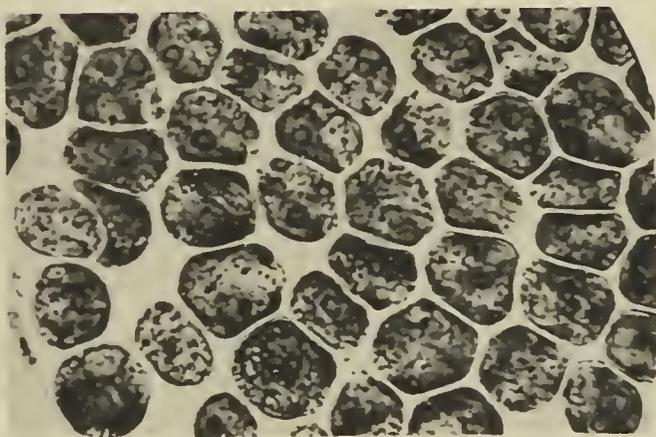
3



5



2



6



7



1



8



4

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Botanisches Centralblatt](#)

Jahr/Year: 1909

Band/Volume: [BH_25_1](#)

Autor(en)/Author(s): Schulze Joh.

Artikel/Article: [Über die Einwirkung der Lichtstrahlen von 280 pp Wellenlänge auf Pflanzenzellen. 30-80](#)