

# Beispiele außerordentlicher Empfindlichkeit der Pflanzen.

Von

**Privatdozent Dr. Oswald Richter.**

---

Vortrag, gehalten den 13. März 1912.

*(Mit Demonstrationen und Lichtbildern.)*

Mit 31 Abbildungen.



Das lautlose Dulden von Insulten, dieses schweigende Geschehenlassen der Pflanzen, wo es sich um knabenhafte oder bübische Streiche gegen sie oder wenigstens ihre Teile handelt, scheint in der Laienwelt die Meinung hervorgerufen zu haben, die Pflanze empfinde nicht. Mit Unrecht, wie die folgenden Ausführungen zeigen werden. Ja, ich behaupte sogar, daß die Pflanzen mitunter empfindlicher sind als der Mensch samt seinen vorzüglichen Instrumenten! Es sei mir daher gestattet, dafür einige Belege zu erbringen. Das erste Beispiel mag den Erscheinungen entnommen werden, die wir als Chemotaxis bezeichnen und mit denen wir unter anderen durch die wertvollen Untersuchungen Pfeffers bekannt geworden sind. Pfeffer hat sich nämlich zum ersten Male die Frage vorgelegt und in befriedigender Weise beantwortet, warum die männlichen Geschlechtszellen oder Spermatozoiden der Farne auf die weiblichen Geschlechtsorgane (Archegonien) zuschwimmen.

Vielleicht darf ich, ehe ich auf die genaue Schilderung der Pfefferschen Experimente eingehe, zunächst einiges über den Bau und den sogenannten Generationswechsel der Farne vorausschicken. Das, was gewöhnlich als Farnpflanze bezeichnet wird, ist bloß ein Teil im Entwicklungszyklus der Farne und ist das Produkt eines Geschlechtsaktes, der sich auf einem vom Laien gewöhnlich übersehenen Lämpchen vollzieht, das als Vorkeim oder Prothallium bezeichnet wird.

Ein solches Prothallium ist, wie Fig. 1 zeigt, ein herzförmiges Gebilde, an dem man eine stärkere Mittel- und eine dünne Randpartie unterscheiden kann. In dem mittleren, dicken Gewebepolster liegen, solange der Vorkeim noch ganz jung ist, männliche und auch weibliche Geschlechtsorgane, die noch überdauern, wenn bereits alle männlichen Geschlechtszellen ausgeschwärmt sind. Fig. 2 zeigt die männlichen, Fig. 3 die weiblichen

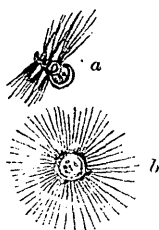


Fig. 4. Spermatozoiden (nach Strasburger)  
a von der Seite,  
b von oben.

Geschlechtsorgane vergrößert. Diese sind flaschenartige Organe, deren Hals innen aus den sogenannten Halskanalzellen zusammengesetzt ist, die ungewein leicht verschleimende Zellhäute besitzen. Der untere Teil des Archegoniums entspricht dem Flaschenbauch und birgt die große Eizelle. Die männlichen Geschlechtsorgane oder Antheridien (Fig. 2) enthalten die Spermatozoidmutterzellen, aus denen sich die Spermatozoiden entwickeln. Ein solches Spermatozoid (Fig. 4) ähnelt einer mit „Härchen“ besetzten Spirale, die am unteren Ende sackartig aufgeblasen ist. Diese „Härchen“ sind die Geißeln, die Fortbewegungsorgane der männlichen Geschlechtszellen, und das Säckchen am Ende ist ein Bläschen mit Eiweiß und Stärkekörnchen, das das Spermatozoid auf seine Wanderung durch den Wassertropfen mitbekommt, um davon zu zehren. Wer weiß, ob es auch seine Eizelle findet, und die Wanderung ist lang.

Wenn Sie je Gelegenheit haben sollten, Farnprothallien unter dem Mikroskope untersuchen zu können, dann versäumen Sie ja nicht, das folgende Experiment zu machen. Sie lassen diese Vorkeime so lange an der Luft liegen, bis sie eben zu welken beginnen, übertragen sie dann in viel Wasser und betrachten sie sofort im Mikroskope. Sie werden dann sehen, wie sich aus den Antheridien die Spermatozoiden in korkzieherartigen Windungen herausarbeiten und dann, einmal frei, in lebhaftestem Tempo durch das Gesichtsfeld bewegen. Gelangt nun eines in ein Archegonium, so verschmilzt es mit dem Ei und die Befruchtung ist vollzogen. Das Ei teilt sich nun, bildet bald ein junges Pflänzchen, das in die Erde das Würzelchen, nach aufwärts das junge Blättchen entwickelt, aus dem der große Farnwedel wird, den Sie alle kennen. Dieser trägt auf der Blattunterseite Häufchen (Sori), die aus Behältern (Sporangien) zusammengesetzt sind, die die sogenannten Sporen enthalten. Fällt eine Spore auf feuchten Boden oder auf den feuchten Blumentopf, so keimt sie aus und bildet wieder einen herzförmigen Vorkeim mit seinen männlichen und weiblichen Geschlechtsorganen und Geschlechtszellen, deren Vereinigung wieder zur neuen Farnpflanze führt. Damit ist der Kreislauf geschlossen.

Sie werden nun zugeben, hochverehrte Anwesende, daß es einem großen Hazardspiele gliche, wenn es die Natur dem Zufall überließe, ob die Spermatozoiden zu den Eiern gelangen oder nicht. Das ist nun tatsächlich nicht der Fall, wie man sich leicht durch folgendes Experiment überzeugen kann.

Es gelingt, wie Pfeffer gezeigt hat, durch geeignete Zucht von Farnprothallien unschwer, sich so viele gleichzeitig im geeigneten Entwicklungsstadium zu halten, daß man von ihnen in einem Tropfen weit über tausend Spermatozoiden gewinnen und versammeln kann. Wenn man nun ein Archegonium eines frischen Prothalliums in einen solchen Tropfen einträgt, so bemerkt man, daß die Spermatozoiden, die in dem Versuchströpfchen ziel- und wahllos herumgeirrt sind, zunächst wie elektrisiert innehalten, als stutzten und überlegten sie, um schließlich ein förmliches Wettschwimmen gegen das Archegonium zu veranstalten (Fig. 5, Taf. I). Das Einschwimmen wird nun allerdings nicht unerheblich erschwert durch die schon früher erwähnte Verschleimung der Membran der äußersten Halskanalzellen. Die Spermatozoiden werden bei dem Bestreben, einzudringen, förmlich aufgerollt und streifen auch ihr Futtersäckchen ab, um leichter ins Innere des Archegoniums zu gelangen. Das kräftigste und behendeste Spermatozoid wird zuerst die Schwierigkeiten überwunden haben und schwimmt dann zur Eizelle, mit der es verschmilzt. Ist diese Verschmelzung besorgt, so umgibt sich die Eizelle mit einer Haut und eine neuerliche Befruchtung mit einem zweitankommenden Spermatozoid erscheint ausgeschlossen.

Wenn man das geschilderte plötzliche Innehalten der Spermatozoiden in ihrer Bewegung und das zielbewußte Einschwimmen gegen das Archegonium sieht, wird man unwillkürlich zu der Ansicht gedrängt, daß vom Archegonium irgend etwas ausgeschieden wird, das

die Spermatozoiden anlockt und ihnen so zum Wegweiser wird.

Was ist es nun, das diese Anlockung besorgt? Zweifellos eine chemische Substanz, aber welche?

Es ist nun hochinteressant, zu verfolgen; wie Pfeffer zur Feststellung jenes Stoffes kam, der die Anlockung besorgt. Es gibt vielleicht kaum ein zweites Beispiel in unserer Wissenschaft, wo man so klar den Wert der analytischen Methode erkennen kann.

Zunächst führt die Gestalt des Archegoniums — es ist ja einem mikroskopisch kleinen Fläschchen mit sehr engem Halse und Kapillarmund zu vergleichen — zu dem Gedanken, ob nicht andere, ähnlich geformte Gebilde im Pflanzenreiche mit ihrem Inhalte eine ähnliche Anlockung der Samenfäden besorgen könnten wie die Archegonien. Untersucht wurden die Brennhaare der Brennessel (*Urtica dioica*), die Haare von *Reseda odorata* und *Heliotropium peruvianum* — mit positivem Erfolg.

Diese willkürlich herausgegriffenen Untersuchungsobjekte zeigten schon, daß der anlockende Stoff der Archegonien nicht etwa nur in den Farnprothallien oder gar nur in den Archegonien vorkommt. Er schien vielmehr eine recht große Verbreitung zu besitzen.

Auch Schnitte der Spritzgurke, *Momordica elaterium*, und einiger anderer Pflanzen lockten die Farnspermatozoiden an.

Nun wurde die Spritzgurke ausgekocht und das Dekokt in Kapillaren gefüllt, wie sie Fig. 6 a und b, Taf. I,

zeigt,<sup>1)</sup> und die gefüllten Kapillaren in Spermatozoidenhaltige Tröpfchen getaucht. Die ♂<sup>2)</sup> schwärmten ein. Darnach stand fest, daß der anlockende Stoff eine durch Kochen nicht zerstörbare Substanz sein müsse. Dekokte der verschiedensten Pflanzen gaben das gleiche Resultat. Es mußte also ein in der Natur weit verbreiteter Stoff sein, der diesen Erfolg hervorrief. Wie *Momordica*-Dekokte wirkten die von Grasblättern, Georginenknollen, Kohlrabi und Rottannenwurzeln.

Durch Abdampfen des Grasdekoktes und die unveränderte Wirksamkeit des Rückstandes wurde bewiesen, daß der wirksame Stoff nicht flüchtig war, und dementsprechend reagierten die ♂ auch nicht auf das mit Hilfe von Wasserdämpfen aus Grasblättern ge-

---

<sup>1)</sup> Diese Kapillaren sind oben zugeschmolzen und werden in der Weise mit der einzuführenden Flüssigkeit gefüllt, daß durch Erwärmen der Großteil der Luft zum Entweichen gebracht wird, wobei der Kapillarmund schon in die Flüssigkeit taucht. Beim Erkalten drückt dann der atmosphärische Luftdruck die Flüssigkeit in die Kapillare, bis die eingeschlossene Luft dem weiteren Steigen der Flüssigkeit Halt gebietet. Die Luft hat dabei den Zweck, die etwa einschwärmenden Samenfäden mit den für ihr Leben und ihre Bewegungen notwendigen Sauerstoff zu versehen. Diese Röhrchen, die Pfeffer auch zum Studium der Anlockung von Bakterien benützt hat und die eine vielfache Verwendung gefunden haben, sind nach ihm Pfeffersche Bakterien- oder Spermatozoidfallen genannt worden.

<sup>2)</sup> ♂ das Zeichen für die männlichen Geschlechtszellen und das männliche Geschlecht.



wonnene Destillat. Grasaufösungen übten weder vor noch nach der Neutralisierung mit Salpetersäure eine Anlockung auf die ♂ aus, auch nicht, wenn noch etwas Ammoniumnitrat zum Extrakte zugegeben wurde. Darnach mußte der anlockende Stoff durch die Veraschung zerstört worden sein, er mußte also, mit anderen Worten ausgedrückt, ein organischer Stoff gewesen sein.

Die im Pflanzenreiche verbreitetsten Stoffe gehören nun 1. den Säuren, 2. den Kohlehydraten und 3. den löslichen organischen Stickstoffverbindungen an.

Pfeffer stellte sich nun drei Gemische her. Das Gemisch I enthielt je 0·05 bis 0·15 % von folgenden organischen Säuren in der Form der Kali-, Ammoniak- und Natronsalze:

Oxal-, Wein-, Zitronen-, Ameisen-, Bernstein-, Valerian-, Milch-, Apfel-, Butter-, Kapron-, Propion- und Essigsäure;

das Gemisch II 0·2 bis 0·5 % Lösungen folgender Stoffe:

Rohr-, Trauben-, Frucht- und Milchzucker, arabisches Gummi, Dextrin, Dulzit, Inosit, Glykogen und Mannit;

das Gemisch III 0·2 bis 0·6 % Asparagin, Leuzin, Tyrosin, Alanin, Glutamin- und Glykolsäure.

Nur auf Gemisch I reagierten die Samenfäden der Farne durch Einschwärmen in damit gefüllte Kapillaren, um II und III kümmerten sie sich nicht. Darnach mußte also in I der Stoff sein, der die Anlockung bewirkte.

Nun war nur noch notwendig, eine der im ersten Gemische angewendeten Säuren nach der anderen auf ihre Reizwirkung zu überprüfen. Nur die Apfelsäure brachte die Anlockung hervor. Und in Übereinstimmung hiemit vermochte das ganze Gemisch der Säuren ohne die Apfelsäure keine Anlockung der ♂ zu bewirken. Darnach war also mit großer, fast an Gewißheit grenzender Wahrscheinlichkeit bewiesen, daß Apfelsäure der Stoff ist, der in Archegonien der Farne die Anlockung der ♂ bewirkt. Freilich, mikrochemisch ließ sich das bisher nicht kontrollieren, da die zur Verfügung stehenden Reaktionen offenbar zu unempfindlich sind, um die im Archegonium wohl vorhandenen Apfelsäuremengen als solche sicher erkennen zu lassen. In der Folge fand Pfeffer noch, daß die durch die trockene Destillation aus der Apfelsäure entstehende Maleinsäure, die, soweit bekannt, im Pflanzenreiche nicht vorkommt, gleichfalls anlockend auf die ♂ wirkt, dagegen erweist sich die beim Erhitzen der Apfelsäure gleichfalls entstehende Fumarsäure indifferent. Die aus Asparagin künstlich dargestellte, optisch aktive verhielt sich dagegen wie die natürlich vorkommende Apfelsäure.

Nachdem nun einmal dieses hochwichtige Resultat erzielt war, galt es nun nur noch, die Reizschwelle zu ermitteln, d. h. nachzusehen, bei welcher Konzentration der Apfelsäure die ♂ eben noch durch Einschwimmen in die Kapillare verrieten, daß sie die Gegenwart der Apfelsäure verspürten. Es zeigte sich, daß die muntersten und beweglichsten von ihnen noch durch eine

0·001<sup>0</sup>/<sub>0</sub>ige Apfelsäurelösung angelockt werden. Wenn man nun die Apfelsäuremenge, welche in der in der Kapillare zurückgehaltenen Flüssigkeit vorhanden ist, berechnet, so ergibt sich bei 0·06 mm lichtem Durchmesser und 1 mm langer Flüssigkeitssäule 0·00284 cm<sup>3</sup> oder mg Flüssigkeit und 0·0 000 000 284 mg Apfelsäure. Das ist aber eine Menge, für die unser Vorstellungsvermögen nicht ausreicht. Es muß freilich bei deren Beurteilung auch die Kleinheit der anzulockenden Objekte mit berücksichtigt werden, was zu einer nicht unwesentlichen Korrektur unserer diesbezüglichen Vorstellungen führt. Berechnet man mit Pfeffer das Volum eines Kegels, der die Breite des ♂ 0·008 mm und des ♂ Länge gleich 0·015 mm besitzt, so ergibt sich der Wert von 0·00 000 025, also  $\frac{1}{4}$  millionstel mm<sup>3</sup>, das das den ganzen Kegel nicht ausfüllende ♂ gewiß nicht erreicht. Nehmen wir nun das Gewicht des ♂ gleich diesem Volumen, also gleich  $\frac{1}{4}$  millionstel mg, so erscheint der Samenfaden bloß neunmal schwerer als die im obigen Versuche angegebene Apfelsäure. „Wenn nun von dieser auch z. B. nur  $\frac{1}{10.000}$  zur Reizung des Samenfadens genügen sollte, so ist das doch im Verhältnis zum Gewichte dieses immer noch eine relativ weit größere Menge, als es 0·03 g Morphinum im Verhältnis zum Körpergewichte eines Menschen sind, auf dessen Organismus solche Dosis schon energisch wirkt“ (Pfeffer p. 383).

Sehr interessant ist auch Pfeffers Feststellung von der Gültigkeit des Weberschen Gesetzes für die Anlockung der Farnspermatozoiden durch Apfelsäure.

Was nämlich eben bezüglich der Reizschwelle ausgerührt wurde, gilt bloß für den Fall, als sich die Spermatozoiden in Wasser befinden, die Kapillare aber die Apfelsäure enthält. Macht man jedoch den Versuch so, daß sich die ♂ schon in einem Apfelsäuretropfen befinden, dann kann man lange darauf warten, daß sie in eine Kapillare mit Apfelsäuregleicher Konzentration einschwärmen. Da heißt es die Konzentration der Kapillarflüssigkeit erhöhen, nicht zwei oder dreimal, wie man vermuten könnte, sondern dreißigmal. Die ♂ sind nämlich schon auf Apfelsäure gestimmt, wie wir etwa das Leuchtbakterien- oder Pilzlicht, das Sie vor nicht langer Zeit von Prof. Molisch (IV.) demonstriert erhielten, nicht sehen, wenn unsere Netzhaut noch von dem hier herrschenden starken Licht affiziert ist. Hier muß das Auge auch erst durch Dunkelheit in die geeignete Stimmung versetzt werden. Hält man nun die ♂ in der jetzt wirksamen Konzentration, so braucht es wieder eine dreißigfache Steigerung der Konzentration, um eine neuerliche Wirkung konstatieren zu können usf. Nennen wir  $R$  den Reiz und  $W$  dessen Wirkung, so entsprechen einander zunächst beide, wenn man von der gleichen Konzentration in Tropfen und Kapillare ausgeht, in der weiteren Folge ergeben sich nach dem Obigen die Werte, die in der folgenden Tabelle angegeben sind:

|                 | $R$            | entspricht | $W$                                |
|-----------------|----------------|------------|------------------------------------|
| $R +$           | 30             | $R =$      | 31 $R = W + w$                     |
| 31 $R +$        | 30 . 31 .      | $R =$      | 31 . 31 . $R = W + w + w$          |
| 31 . 31 . $R +$ | 30 . 31 . 31 . | $R =$      | 31 . 31 . 31 . $R = W + w + w + w$ |

d. h. aber, „die Empfindung“ (die Wirkung) „wächst in arithmetischer Progression, während der Reiz in geometrischer Progression zunimmt“ (Pfeffer, p. 401).

Das ist aber mit anderen Worten der Ausdruck des von den Sinneswahrnehmungen des Menschen her bekannten Weber-Fechnerschen Gesetzes.

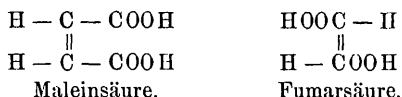
Was Pfeffer für Farne untersuchte, hat er dann auch für Laubmoose überprüft und gefunden, daß deren Spermatozoiden durch Rohrzucker angelockt werden, und daß die Moos-♂ denen der Farne an Empfindlichkeit nichts nachgeben, sondern daß auch sie von 0.001% des Reizmittels eben noch angelockt werden.

Diese Untersuchungen Pfeffers haben, wie man sich leicht denken kann, eine große Anzahl neuer Arbeiten angeregt, von denen ich nur die Shibatas (1905) erwähnen möchte, die über die chemische Empfindlichkeit der Spermatozoiden einer anderen Pflanze, mit Namen Isoëtes, berichtet.

Es gibt nämlich, wie uns die Chemie lehrt, chemische Verbindungen, bei denen die Analyse genau die gleiche chemische Zusammensetzung feststellt, und die doch voneinander verschieden sind. Sie unterscheiden sich nämlich unter anderem durch ihr optisches Verhalten. Man nennt solche Verbindungen stereoisomer. Nach Van't Hoff kann man sich den Bau der chemischen Formeln dieser Substanzen in der Art verständlich machen, daß man sich die im Moleküle vorkommenden Atomgruppen im Hinblick auf die Vierwertigkeit des Kohlenstoffatoms etwa an den Ecken eines Tetraeders räumlich angeordnet

denkt. Man findet dann, daß man die beiden Modelle niemals zur Deckung bringen kann, sie sind spiegelbildlich gleich.

Die Formeln zweier organischer Säuren dieser Art sind



Die Samenfäden von *Isoëtes* reagieren nun wohl auf Fumar-, dagegen nicht auf Maleinsäure. Sie verhalten sich also in der Hinsicht gerade entgegengesetzt wie die Farn-♂ (s. S. 494). Nun werden sie noch weiter angelockt durch Apfel-, Bernstein- und Weinsäure, die einander alle in dem räumlichen Aufbau der Moleküle ähnlich sind, dagegen werden sie durch Malein-, Malon- und Asparaginsäure nicht angelockt.

Dieser Fall erinnert an die von Emil Fischer gegebene Erklärung für die Eigenart der Enzymwirkung. Auf Grund von Experimenten über das Verhalten gewisser Enzyme gegen künstliche stereoisomere Glykoside kam nämlich Fischer zu dem Schluß: „Wenn irgendein Enzym auf eine Substanz spezifisch zerlegend wirkt, so muß sich in der letzteren eine bestimmte sterische Atomgruppierung vorfinden, welche dem betreffenden Enzym nach Art des Schlosses und Schlüssels paßt und ihm damit den Angelpunkt seines Eingreifens verschafft.“<sup>1)</sup>

---

<sup>1)</sup> Zitiert nach Shibata (604).

Im Anschluß hieran können wir uns auch das Wesen des reizempfangenden Apparates im Samenfadenkörper so vorstellen, daß er einen bestimmten chemischen Bau, eine „Rezeptorgruppe“ enthält, welche mit ihrem chemisch räumlichen Aufbau der Apfelsäure gut paßt und diese bei sich festhalten kann. So an das reizbare Substrat geheftet, tritt die Apfelsäure in die Wechselwirkung ein, die auf seiten der Samenfäden den ersten Aufnahmevorgang einleitet.<sup>1)</sup> „Es ist dann leicht verständlich, daß auch die mit Apfelsäure nahe verwandten und zudem ähnlich gebauten Körper einen analogen Auslösungsvorgang bei den Samenfäden hervorrufen können. Daß hingegen Maleinsäure, Malonsäure und Asparaginsäure der anlockenden Wirkung entbehren, kann man wohl dadurch erklären, daß ihre Moleküle, wegen der abweichenden Struktur, nicht mehr imstande sind, im besagten Sinne“ auf den Aufnahmeapparat der Samenfäden einzuwirken (Shibata, p. 604/5).

Ein anderes Beispiel der außerordentlich großen Empfindlichkeit der Pflanze liefert uns das Sauerstoffbedürfnis der Bakterien.

Wir verdanken Engelmann (I—III, 1881—86) den Nachweis, daß gewisse bewegliche Bakterien die Fähigkeit haben, noch jenen Sauerstoff anzuzeigen, der in einem ganz winzigen Luftbläschen enthalten ist.

Das ist so zu erklären. Diese Bakterien benötigen für ihre Bewegungen Sauerstoff, fehlt der, so verfallen

---

<sup>1)</sup> Nicht wörtlich, wohl aber dem Sinne nach zitiert nach Shibata (604).

sie in eine Starre. Man kann also aus der vorhandenen Bewegung auf das Vorhandensein von O rückschließen.

Sie sehen hier (Fig. 7, Taf. II) eine Luftblase, umschwärmt von Tausenden und Abertausenden beweglicher, sauerstoffempfindlicher Bakterien. Unter Berücksichtigung des Durchmessers und der Kugelgestalt des Bläschens läßt sich dann die Menge des in ihm enthaltenen O berechnen.

„Sauerstoffmengen von zuverlässig weit weniger als einem hundertbillionstel Milligramm“ können durch diese Bakterien noch nachgewiesen werden. „Es ist selbst nicht unwahrscheinlich, daß die kleinsten mit Sicherheit nachweisbaren Sauerstoffmengen innerhalb der Grenzen liegen, welche die theoretische Physik auf verschiedenen Wegen für das Gewicht des Sauerstoffmoleküls zu berechnen gestattet“ (Engelmann, 441).

Der große physiologische Wert der Engelmannschen Entdeckung liegt nun darin, daß man mit Hilfe seiner Probe auch den Nachweis der Assimilation irgend-eines grünen Organismus, ja eines Chlorophyllkorns zu erbringen vermag.<sup>1)</sup>

Bekanntlich besteht die CO<sub>2</sub>-Assimilation in der Verarbeitung von CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O zu organischer Substanz unter Abgabe von Sauerstoff. Wenn also irgendwo bei Gegenwart O-empfindlicher Bakterien O abgegeben wird, wird man eine Bakterienansammlung bemerken und

---

<sup>1)</sup> Über gewisse Bedenken vgl. bei Molisch (I., 1904, 8/9).



daraus indirekt auf stattgehabte oder stattfindende Assimilation schließen können.

Fig. 8, Taf. II zeigt ein Closterium umgeben von einer Wolke beweglicher sauerstoffempfindlicher Bakterien. Der gleiche Versuch gelingt natürlich mit einer Fadenalge, etwa Spirogyra usw.

Engelmann hat dann später noch einen sehr interessanten Apparat konstruiert, der es ermöglicht, ein winziges Spektrum unter das Mikroskop zu werfen. Der Apparat ist nach Engelmann der Engelmannsche Mikrospektralapparat genannt worden.

Beleuchtet man nun z. B. einen Cladophorafaden, der in einem Tropfen O-empfindlicher Bakterien liegt, mit diesem Mikrospektrum, so sieht man alsbald die Hauptansammlung der Bakterien im Rot, eine zweite Anhäufung an der Grenze von Grün und Blau (Fig. 9 Taf. II). Damit ist aber erwiesen, daß gerade dort, wo das Chlorophyll, der grüne Farbstoff der Pflanze, die stärkste Absorption des Lichtes zeigt, die stärkste Assimilation stattfindet. So wird die Engelmannsche Probe eine ausgezeichnete Kontrolle eines der wichtigsten pflanzenphysiologischen Probleme.

Ich möchte hier noch einflechten, daß auch die Ihnen schon bekannten Leuchtbakterien ein vorzügliches, ja geradezu das beste Reagens auf Sauerstoff darstellen, das wir besitzen. Die Leuchtbakterien haben nämlich die Eigentümlichkeit, daß sie nur bei Gegenwart von O zu leuchten vermögen. Hält man sie in hoher Flüssigkeitssäule, so verlöschen sie bald, weil sie den in der Flüs-

sigkeit vorhandenen Sauerstoff veratmen. Derartig vorbereitete Kulturen sind nun für den Nachweis der von grünen Objekten im Lichte ausgeschiedenen O-Mengen ungemein geeignet.

Molisch (l., 1904, 3) hat diese von Beijerinck (1901) angegebene Methode ausgebaut und gefunden, daß die von einem Streichhölzchen binnen einer Sekunde auf 10 cm Entfernung ausgestrahlte Lichtintensität genügt, um die — in Anbetracht der geringen Beleuchtungsdauer und infolge der dadurch ungemein herabgedrückten Kohlensäureassimilation — ausgeschiedene minimale Sauerstoffmenge durch das Aufleuchten der wegen Sauerstoffnot verloschenen Bakterien zu verraten.

Ein weiteres Beispiel mag den Untersuchungen über die fleischfressenden Pflanzen entnommen sein. Wir sind über diese interessante Pflanzengruppe insbesondere durch Darwins (1876) grundlegende Untersuchungen orientiert. Wegen ihrer raschen Reaktion und ihres interessanten Insektenfangs ist eine dieser Pflanzen als Venusfliegenfalle bezeichnet worden. Ein leichtes Anstoßen des Insektes genügt, um ein ungemein schnelles Zusammenklappen der Blattspreiten auszulösen, und die Wirkung ist oft so prompt und kräftig, daß die gefangene Fliege durch die Teile der Falle völlig zerquetscht wird. Ausscheidung von Pepsin und Säuren, die wie beim menschlichen Magen zur Verdauung der Eiweißverbindungen der Nahrung dienen, ist die nächste Folge. Und ist endlich alles Eßbare verdaut, so wird das Blatt wieder geöffnet, es läßt den Chitinpanzer fallen und ist neuerdings fangbereit.

Eine fleischfressende Pflanze unserer Flora ist der Sonnentau, der den Namen von den kleinen, in der Sonne glitzernden Tröpfchen hat, die sich auf den Tentakeln der Blättchen — so nennt man die Fangapparate dieses Pflänzchens — vorfinden. Diese Tröpfchen bestehen aus einer klebrigen Substanz, die zur Anlockung der Fliegen dient. Kommt nun eine solche unglückliche Naschhafte, so bleibt sie mit den Füßen kleben, will sich losreißen, reizt dadurch die Tentakeln noch mehr, die sich nun langsam über der Fliege schließen, worauf mit der Verdauung, wie oben geschildert wurde, begonnen wird.

Für diese Schließbewegungen braucht es nun nicht bloß mechanische Reize, auch chemische vermögen die Einkrümmungsbewegung auszulösen. Geeignete Chemikalien sind Eiweißstückchen und mineralische Substanzen. Am wirksamsten erweist sich Ammoniumphosphat. Und zwar ließ sich feststellen, daß  $\frac{1}{3}$  millionstel mg des Salzes zur Hervorrufung der Bewegung genügt.

Das Beispiel von der *Mimosa pudica*, der sogenannten Sinnpflanze, ist so bekannt, daß ich darauf kaum näher einzugehen brauche. Ein schwaches Anblasen, ein zartes Berühren, eine gelinde Erschütterung, eine schwache Ätzung mit Spuren von Säure oder Alkalien reicht bereits aus, um ein Zusammenklappen der Fiederblättchen, das Senken der Stiele, kurz die sogenannte Reizstellung der Pflanze zustande zu bringen.

Ein anderes Beispiel. Sie alle kennen die *Passiflora gracilis*, die sogenannte Passionsblume, und haben die daran vorhandenen Ranken gesehen und beachtet, wie sie

eine Stütze umfassen und an sich oder sich an die Stütze heranziehen. Diese Ranken sind nun für Druckwirkungen von Gewichten außerordentlich empfindlich. Wir verdanken Darwin in dieser Richtung sehr exakte und grundlegende Versuche. Es hat sich dabei gezeigt, daß 1·23 mg Platin genügen, um die Rankenbewegung auszulösen.

Es ist nun gar nicht uninteressant, mit den für die Anlockung der Farn- und Moosspermatozoiden von Pfeffer gefundenen Werten von 36 millionstel mg Apfelsäure, bezw. Rohrzucker, mit der Angabe von Engemann über die Anlockung der O-empfindlichen Bakterien durch 100 billionstel, bezw. 1 trillionstel mg Sauerstoff und mit der Angabe Darwins über die Antwort einer Droseratentakel auf  $\frac{1}{3}$  millionstel mg Ammonphosphat die Ergebnisse derjenigen chemischen Methoden, die wir als die derzeit bekanntesten empfindlichsten bezeichnen, sowie die Beobachtungen E. Fischers und Penzoldts (zitiert nach Emich I.) über die Grenze der Wahrnehmbarkeit des Merkaptangeruches durch den Menschen zu vergleichen.

Diese beiden Forscher stellten fest, daß  $\frac{1}{460}$  millionstel mg dieses penetranten Riechstoffes noch von der menschlichen Nase verspürt wird. Kirchhoff und Bunsen (s. Emich I.) teilen mit, daß spektralanalytisch noch 14 millionstel mg Na nachgewiesen werden können.

Nach Steele und Grant (1911) zeigt die neue Mikrowage noch exakt  $\frac{1}{10.000}$  mg an, wobei sich die Genauigkeit sogar bis zu der Messung von  $\frac{1}{250.000} = 4$  millionstel mg steigern läßt.

Eine der empfindlichsten mikrochemischen Proben ist der Nachweis des Mg als Magnesiumammoniumphosphat. Sie gelingt noch bei Gegenwart von

$$0.002 \left( \frac{\text{mg}}{1000} \right) \text{ mg} = 2 \text{ millionstel mg Magnesium.}^1)$$

Nach Emich (II./III.) werden mit seiner mit verdünnter Lauge hergestellten blauen Lackmusseide noch 0.5 millionstel mg Schwefel-, Salz- und Salpetersäure, mit der durch Bleiessigbehandlung gewonnenen Lackmusseide noch 1 millionstel mg Salzsäure und 2 millionstel mg Schwefelsäure nachgewiesen. Andererseits verrät rote Lackmusseide noch  $\frac{3}{10,000.000}$  mg Ätznatron (II. 615).

Wir sehen aus dieser Zusammenstellung, daß sich die Pflanzen würdig an die Seite unserer besten Reagentien reihen lassen und daß sie, man denke speziell an die O-Empfindlichkeit, an Leistungen menschliche Sinnesorgane übertreffen. Freilich muß, wie dies schon früher (S. 495) betont wurde, falls wir die relative Leistungsfähigkeit der angegebenen Substanzmengen in bezug auf die gereizten Objekte berücksichtigen wollen, auch das Gewicht der angelockten oder gereizten Pflanzensubstanz mit in Rechnung gezogen werden, wodurch die Leistung der Pflanze etwas abgeschwächt wird.

Ich erinnere an unseren Vergleich zwischen Apfelsäure und ♂ einer- und Morphinum und Mensch anderseits. Ebenso sind die Bakterien in Engelmanns Versuchen so winzig, daß ihre Körpergröße gegenüber diesem kleinen

<sup>1)</sup> Richter Oswald (VIII.), p. [216] 46.

Sauerstoffquantum nicht verschwindend gering ist. Von demselben Standpunkt erscheint das Gewicht von 1·23 mg Platin, das ausreicht, um eine Ranke der Passionsblume, *Passiflora gracilis*, durch Einkrümmung antworten zu lassen, doch nicht so verschwindend. Allerdings ist zu bedenken, ob eine solche relative, auf der Gewichtsbestimmung basierende Vergleichung oft ganz heterogener Prozesse, wie sie Pfeffer (383) durchführt, völlig am Platze ist. Ich kann mir z. B. ganz gut denken, daß eine Destruktion wie die Zerstörung des menschlichen Organismus durch Morphinum relativ weniger Schwierigkeiten bereiten mag als die Heranlockung eines ganzen Organismus, wie im Falle der Apfelsäure und der Farnspermatozoiden.

Und nun noch einige Beispiele, die uns die ans Fabelhafte grenzende Empfindlichkeit der Pflanze für Licht und für die in der Luft vorhandenen gasförmigen Verunreinigungen des Laboratoriums und andere Gase demonstrieren sollen. In dem sogenannten Wiesnerschen Photometerversuch und, was speziell die Empfindlichkeit für Laboratoriumsluft anlangt, übertrifft tatsächlich die Pflanze weit die Leistungsfähigkeit des Menschen.

Sie sehen hier eine Kolonne Erbsen, die zwischen zwei Lichtquellen aufgestellt waren, so daß auf sie nach menschlichem Ermessen gleich starke Lichtintensitäten auffielen. In solchen Versuchen wachsen die Keimlinge doch fast nie, wie man erwarten würde, entsprechend der Lichtintensität, die sie von beiden Seiten trifft, schnurgerade aufwärts. Es krümmen sich vielmehr meist alle Keimlinge ohne Ausnahme zu einer der Lichtquellen

hin, vorausgesetzt, daß die Keimlingskolonne nicht allzulänglich war. In anderen Fällen (Fig. 10, Taf. II) wird die Zahl der hierhin und dorthin gewachsenen Keimlinge in der Mitte der Versuchskolonnen 1 : 1 und noch seltener wächst ein oder der andere Keimling wirklich vertikal nach aufwärts. Darnach erscheinen diese Versuchskeimlinge mit ihrem feinen Reaktionsvermögen empfindlicher als das etwa mit einem Bunsenschen Fettfleckphotometer arbeitende menschliche Auge.

Hagem, der den gleichen Versuch mit langen Versuchskolonnen durchführte, konnte zeigen, daß die Flügelkeimlinge nicht mehr im gleichen Sinne reagieren wie die in der Kolonnenmitte. Für sie kommt der Helligkeitsunterschied zwischen der gegen die Kolonnenmitte gewendeten, stärker belichteten Innen- und der ihr abgekehrten, völlig unbelichteten Außenseite der Keimlinge in Betracht. Die Keimlinge werden sich somit nur zum Gesamtlichte, also gegen die Versuchskolonnen, und zwar in der Resultierenden aus beiden sie treffenden Lichtintensitäten krümmen. Je mehr man dann nach innen rückt, desto mehr macht sich die sukzessive zunehmende Differenz zwischen beiden Lichtquellen bemerkbar und desto mehr schwenken die Keimlinge aus der Aufstellungsebene heraus und neigen sich der für jeden jeweilig stärker erscheinenden Lichtquelle zu (Fig. 10, Taf. II).

Diese fabelhafte Lichtempfindlichkeit der Keimlingspflanze prägt sich auch noch in Versuchen aus, deren erste wir gleichfalls Wiesner verdanken: die Induktionsversuche.

Von Ihren eigenen Beobachtungen über Ihre Zierpflanzen am Fenster her werden Sie sich vielleicht die Meinung gebildet haben, daß es notwendig ist, die Kulturpflanzen kontinuierlich am Fenster zu ziehen, um an ihnen die typische Krümmung zum Lichte, den sogenannten Heliotropismus, zu erhalten. Das ist unnötig, wie die gleich zu schildernden Versuche zeigen.

Es genügt, die Keimlinge nur eine ganz kurze Zeit hindurch zu belichten, um bereits, nachdem man sie dauernd dunkel gestellt hat, einen unzweifelhaften heliotropischen Effekt zu erhalten.

Dabei ist es natürlich nicht gleichgültig, wie stark die Lichtquelle ist, mit der die Reizung ausgeführt und wie lange belichtet wird.

Um Ihnen einen Begriff von diesen Verhältnissen zu geben, entnehme ich hier den Arbeiten von Blaauw und Fröschel einige nicht uninteressante Daten.

Nach Blaauw (20/21) war der erste deutliche heliotropische Effekt zu sehen, wenn er

| die folgende<br>Zeit: | mit Meter-<br>kerzen: | Meter-Kerzen-<br>Sekunden: <sup>1)</sup> |
|-----------------------|-----------------------|--|
| 43 Stunden            | 0·00017               | 26·3                                     |
| 10 „                  | 0·000609              | 21·9                                     |
| 15 Minuten            | 0·0249                | 22·4                                     |
| 8 „                   | 0·0498                | 23·9                                     |
| 40 Sekunden           | 0·6156                | 24·8                                     |
| 8 „                   | 3·02813               | 24·2                                     |

---

<sup>1)</sup> = Produkt von Intensität und Zeit.



| die folgende<br>Zeit:   | mit Meter-<br>kerzen: | Meter-Kerzen-<br>Sekunden: |
|-------------------------|-----------------------|----------------------------|
| $\frac{2}{25}$ Sekunden | 308·7                 | 24·7                       |
| $\frac{1}{25}$ „        | 511·4                 | 20·5                       |
| $\frac{1}{55}$ „        | 1255                  | 22·8                       |
| $\frac{1}{1000}$ „      | 26520                 | 26·5                       |

belichtete.

Dabei zeigt sich die interessante Erscheinung, daß das Produkt aus der Intensität der Belichtung ( $I$ ) und der Belichtungsdauer ( $t$ ), also:  $It$ , stets einen konstanten Wert darstellt. Der Experimentator ist somit in der Lage, stets, wenn er für eine Intensität die sogenannte Präsentationszeit, d. i. die kürzeste Induktionszeit ermittelt hat, für jede andere Intensität diese Zeit vorauszurechnen und umgekehrt bei gegebener Zeit die Intensität zu bestimmen. Dieser Satz prägt sich auch in Fröschels Experimenten aus.

Nach Fröschel benötigt man bei einer Intensität von 0·828 NK<sup>1)</sup> nur 7—8 Minuten Belichtung, um einen heliotropischen Effekt zu erzielen, bei 3·311 NK nur  $1\frac{1}{2}$ —2 Minuten, bei 13·244 NK nur  $\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$  Minuten und bei Anwendung von sehr starkem Lichte, 0·667 B.-R.-E<sup>2)</sup>, nur Lichtblitze von  $\frac{1}{1200}$ , ja  $\frac{1}{2000}$  Sekunde, um nach Ablauf zweier Stunden schon den unzweideutigen Effekt verzeichnen zu können.

Damit sind aber Werte erzielt, die Bréguet und Richet für die Lichtempfindung des menschlichen Auges

<sup>1)</sup> = Normal-Kerzen.

<sup>2)</sup> = Bunsen-Roscoe-Einheiten.

nachgewiesen haben, da sie mit Hilfe eines eigens dazu konstruierten Apparates fanden, daß das menschliche Auge noch Lichtblitze von  $\frac{1}{2000}$  Sekunde eben wahrzunehmen vermag (zitiert nach Fröschel, 1909, 419).

Es hat sich dann endlich gezeigt, daß die Pflanzen auch für die verschiedenen Strahlengattungen verschieden empfindlich sind, und zwar lösen die Strahlen des blauen Spektralbezirkes die Krümmung der oberirdischen Teile der Pflanzen zum Lichte aus, während die des gelben vornehmlich das Ergrünen und die  $\text{CO}_2$ -Assimilation ermöglichen.

Dadurch werden wir überhaupt erst in den Stand gesetzt, über heliotropische Krümmungen zu arbeiten, da nämlich unser Auge in einem roten Lichte sehr gut sieht, in dem Keimlinge sozusagen nicht heliotropisch reagieren.

Eine merkwürdige Erscheinung der Lichtempfindlichkeit für plötzliche Schwankungen der Lichtintensität hat Engelmann (IV. 1888) bei den Purpurbakterien gefunden, die er Schreckbewegung genannt hat und auf die ich hier auch noch mit einigen Worten zu sprechen kommen möchte.

Die Purpurbakterien sind, wie schon der Name sagt, eine Gruppe von Bakterien, die durch einen sehr charakteristischen Farbstoff ausgezeichnet sind, der ihnen auch den Namen eintrug. Genauer untersucht wurde er von Molisch (II. 1907, 78), der fand, daß er aus zwei durch verschiedene Lösungsmittel (Alkohol und Chloroform) trennbaren Farbstoffen besteht, die er Bakteriochlorin und Bakteriopurpurin nannte.

Selbst verschaffen können Sie sich Rohkulturen dieser Organismen jederzeit, wenn Sie eine Hand voll Heu absieden und dann mit Leitungswasser in einem hohen Standzylinder überschichten und über das Wasser eine Schichte Olivenöl schütten. Die Bakterien sind nämlich dem Luftsauerstoff abhold, anaerob, wie wir zu sagen pflegen. Wenn Sie solche Kulturen bei der jetzigen Jahreszeit und bei der derzeit schon herrschenden Sonnenbeleuchtung stehen lassen, so werden Sie schon in den ersten acht Tagen nach Ansetzen der Kulturgläser die ersten roten Stellen an der Innenseite des Glases bemerken — Bakterienkolonien, denen sich bald andere zugesellen, so daß nach 14 Tagen bis 1 Monat die dem Lichte zugekehrte Seite intensiv rot erscheint von Millionen und Abermillionen von Bakterien. Ich möchte hier noch bemerken, daß die einzelne Bakterie unter dem Mikroskope nicht gefärbt erscheint, erst die massenhaft angesammelten Bakterien sind makroskopisch rot.

Zu den Versuchen, die ich nun eben schildern will, eignen sich am besten sehr bewegliche Purpurbakterien-Spirillen oder Rhodospirillen, wie sie Molisch nennt. Man sieht im Mikroskope die Spirillen ziellos nach allen Seiten hineilen, fährt dann rasch mit der Hand oder einem Papier durch die von dem Spiegel kommenden Lichtstrahlen, wobei man ein in gerader Richtung dahinschwimmendes Spirillum ins Auge faßt. Überrascht scheint es einen Moment zu stutzen, als wäre es erschreckt worden, und fährt nun sofort in der seiner ur-

sprünglichen Bewegungsrichtung entgegengesetzten Richtung zurück. Dabei genügt eine Beschattung von  $\frac{1}{2}$  bis 1 Sekunde. Diese Eigentümlichkeit, aus dunklen Stellen sich sofort wieder in die lichten zu retten, sowie sich deren Schattenwirkung bemerkbar macht, kann man nun dazu benutzen, um die Purpurbakterien auf engem Raume zur Ansammlung zu bringen. Man benötigt dazu bloß ein schwarzes Papierchen, in das man mit der Nadel hineinsticht, um den Lichtstrahlen den Durchtritt an einer Stelle zu ermöglichen — Engelmanns Purpurbakterienfalle. Anfänglich schwimmen die Bakterien nach allen Richtungen. Dabei kommen die zufällig schon im Bannkreise des Lichtes befindlichen an den Lichtkreisrand. Kaum spüren sie die Beschattung, so eilen sie auch schon zurück. Die kommen also aus dem Lichtkreise nicht mehr heraus. Die anderen schwimmen ziellos weiter, denn sie sind nicht phototaktisch, d. h. sie suchen das Licht nicht. Da kommt ein erstes, ein zweites, ein drittes in den Lichtkreis. Damit sind diese auch schon gefangen, denn jetzt geht es ihnen wie ihren schon anwesend gewesenen Kameraden, und so kommen sie eines nach dem anderen, bis alle Bakterien des Präparates in der Lichtfalle gefangen sind (Fig. 11 a, Taf. III). Wenn man statt des Ausschnittes ein Kreuz aus Staniolpapier herstellt und über das Deckglas legt, so sammeln sich die Bakterien natürlich in den belichteten Ecken und man bekommt beim Wegnehmen des Papiers ein farbloses Kreuz auf rotem Grunde (Fig. 11 b, Taf. III). Ja, es genügen die mit Diamant ins Deckglas eingeritzten

Namenszüge, wie Molisch gezeigt hat, um auch sie deutlich auf rotem Grunde hervortreten zu lassen.

Durch die große Ansammlung an einem Platze nützen die Bakterien offenbar die organischen Substanzen an dieser Stelle aus und werden dann von den chemischen Stoffen der unausgebrauchten Stellen angelockt, weshalb sie dann in die leeren Partien stürzen, so daß man nach wenigen Minuten das Negativ der ursprünglichen Gruppierung erhält (Molisch II, 37).

Auch Euglenen zeigen diese Schreckbewegung in exquisiter Weise. Hat man z. B. eine genügende Menge dieser grünen, an der Grenze von Pflanzen und Tieren stehenden Organismen vor sich und macht nach Molisch den oben für die Purpurbakterien geschilderten Versuch mit der kurzen Beschattung durch die Hand, so sieht man, wie die lustig beweglichen Objekte einen Moment innehalten, sich aufstellen und bäumen wie Zirkuspferde auf Kommando des Bändigers, allgemeines Taumeln — Purzelbäume —, worauf die ganze Gesellschaft nach Aufhören der Beschattung die normale Bewegung wieder aufnimmt (Molisch II, 36).

Und nun noch einiges über die Empfindlichkeit der Pflanze gegen Gase.

Verspüren Sie in diesem Vortragssaale eine drückende, schlechte Luft? Ich nicht und ich glaube auch keiner von Ihnen. Und doch kann ich Ihnen versichern, daß gewisse Pflanzen wie Erbsen-, Wicken-, Bohnen- und Kürbiskeimlinge, in dieser Luft völlig abnormal gedeihen würden.

Der erste, der den Einfluß der Verunreinigungen der Luft auf den Wuchs von Erbsen, Wicken und Linsen studiert hat, war Neljubow (1901). Er fand, daß Keimlinge dieser Pflanzen, die in der guten Luft einer Orangerie gezogen waren, völlig vertikal nach aufwärts wuchsen, wie das andere Pflanzen auch tun, daß aber die gleichen Objekte im Laboratorium wachsen, als wäre ihnen das Empfindungsvermögen für die Erdschwere abhanden gekommen oder, wie er (1901/11) die Erscheinung deutete, als wäre ihr negativer Geotropismus, d. h. ihre Wachstumsrichtung vom Erdmittelpunkte weg, in eine dazu senkrechte umgewandelt worden. Wir werden dann in einer Serie von Bildern sehen, daß die von ihm gegebene Erklärung nicht zu Recht besteht.

Wenn nämlich die eben geäußerte Anschauung richtig ist, dann muß die Krümmung auch bei Pflanzen in reiner Luft auftreten, die man der einseitigen Schwerkraftwirkung entzieht. Das gelingt nun tatsächlich (Fig. 12, Taf. III). Die Apparate, die man dazu benützt, sind die sogen. Klinostaten, die auf dem Prinzipie beruhen, die Pflanzen langsam kontinuierlich zu drehen, so daß jede Stelle abwechselnd von verschiedenen Seiten der Schwerkraftwirkung ausgesetzt wird (Richter Oswald VII, 1910).

Mit diesen Apparaten gelingt es dann auch, an den Klinostatenpflanzen in der Laboratoriumsluft die betreffenden Krümmungen hervorzurufen (Fig. 13, Taf. IV).

Diese beiden Versuchsserien beweisen, daß es sich in den vorliegenden Fällen um eine in den Pflanzen selbst

gelegene Krümmungstendenz handelt, die erst durch die Bewegung am Klinostaten bei rL<sup>1</sup>-Pflanzen oder durch die Einwirkung der Laboratoriumsluft und anderer Gase auch bei vertikal aufgestellten Keimlingen der Erbse, Wicke und Linse sichtbar hervortritt, weil sie normalerweise durch den Geotropismus maskiert erscheint. Die bei den Fig. 12, Taf. III, und 13, Taf. IV gegebenen Erläuterungen mögen die geschilderten Beobachtungen noch eingehender erklären. Das große Verdienst Neljubows bleibt es aber jedenfalls, daß er die Aufmerksamkeit der Pflanzenphysiologen auf die Wirkung der Laboratoriumsluft gelenkt hat, in der er wieder das Leuchtgas und darin das Azetylen als wirksamsten Faktor erkannte.

1903 erschien dann eine Arbeit (Richter Oswald I.), die bewies, wie einschneidend der Einfluß der gasförmigen Verunreinigungen der LL<sup>2</sup>) auf die Hemmung des Längen- und weiter auf die Förderung des Dickenwachstums einer Anzahl von Keimlingen ist. Bohnen-, Wicken-, Kürbis- und Sonnenblumenkeimlinge finden Sie in den Figuren 14, Taf. IV und 19, Taf. VII dargestellt, die Ihnen alle die eben geschilderten Erscheinungen zeigen. Auch die Triebe vom knollentragenden Ziest, *Stachys tubulifera*, zeigen dieselben Erscheinungen, wenn man sie z. B. Azetylenluft aussetzt (Fig. 15 a, b, c, S. 516 u. Taf. V a, b), nur möchte ich sagen, noch etwas prägnanter, weil der Stengel aus Zwischengliedern (Internodien) zusammengesetzt ist, von

<sup>1</sup>) rL = Reine Luft.

<sup>2</sup>) LL = Laboratoriumsluft.

dem jedes in seinem Längenwachstum gehemmt und im Dickenwachstum gefördert wird, wodurch dann ganz sonderbare Formen zutage treten. Man hat es bei diesen

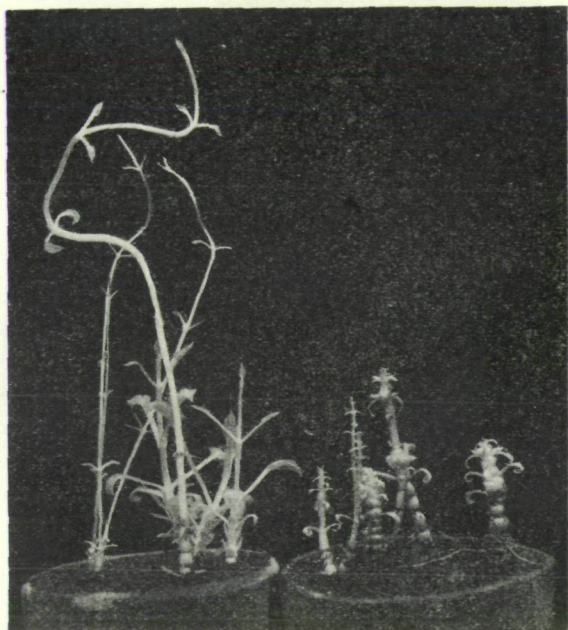


Fig. 15a. Hemmung des Längen- und Förderung des Dickenwachstums bei dem Ziest, *Stachys tubulifera*. Links Pflanzen der rL, rechts die aus der Azetylenatmosphäre.

mehr als bei anderen Objekten auch in der Hand, den Wechsel der Wirkung abwechselnd gebotener guter und schlechter Luft zu studieren (Fig. 15 b, Taf. Va).



Diese Beobachtungen am Ziest sind nun gerade deshalb von einigem Interesse, als sie schon 1887 von Vöchting an ausgewachsenen Objekten gesehen, aber völlig anders gedeutet wurden. Innere Disposition zum Umschlag von Laubsprossen in Rhizome sollte die Ursache der Erscheinungen gewesen sein. Wenn man aber seine Figuren (1, 2, 4, 5, 7) mit den eben dargestellten vergleicht, so wird man die auffallende Ähnlichkeit nicht wegleugnen können. Auch stimmt die Schilderung der Versuchsanstellung — Übertragen ins Laboratorium etc. — völlig mit der Annahme, daß Vöchting in diesem Falle zu einer Zeit, wo man ja von der schädigenden Wirkung der LL noch keine Ahnung hatte, durch diesen so wichtigen Faktor in unseren Versuchsräumen irreführt wurde, wenn auch zugegeben sein mag, daß die von ihm postulierten inneren Dispositionen von Bedeutung sein mögen.

Geht das Dickenwachstum so vor sich, daß die äußeren den inneren sich stärker dehnenden Geweben nicht mehr standhalten können, so kommt es zum Platzen und Zerreißen der Gewebe. Sie sehen hier Kartoffeln, hier Kürbiskeimlinge, hier Bohnenstengel, die in dieser Weise völlig zerrissen wurden (Fig. 16—18, Taf. VI und VII). Bei der Kartoffel kommt es direkt zu einem Zerfall der Zellen bei lebendigem Leibe (Fig. 16 c, Taf. VI).

Von Interesse ist auch die starke Dreh- oder Zirkumnutationsbewegung an Sonnenblumen- und Kürbiskeimlingen der rL, die man erst feststellen konnte, nachdem man die LL auszuschalten gelernt hatte, die ihrer

seits hemmend auf die Zirkumnutationsbewegung wirkt (Fig. 19, Taf. VII).

Die Laboratoriumsluft beeinflusst aber auch den ganzen inneren Bau der Pflanze. Sie ruft Kollenchymbildung, das sind Eckenverdickungen der Zellen, hervor, wo sie unter gleichen Bedingungen an Pflanzen der r L nicht festgestellt werden können; sie steigert den Turgor, den Innendruck der Zellen, bis auf 7 und mehr Atmosphären gegenüber den Kontrollexemplaren, sie wirkt auf den pflanzlichen Zellkern und ändert die ganze Chemie der Pflanze, sie hemmt die Blumenblaubildung, wie Versuche mit Akelei- und Polemoniumblüten gezeigt haben, und greift in den Stoffwechsel ein, wie man mit Hilfe der Jodprobe ad oculos demonstrieren kann.<sup>1)</sup> Johannsens (s. Grafe und Richter), Prianischnikows und Grafes Analysen haben endlich bewiesen, daß durch Narkotika der ganze Stoffwechsel der Pflanzen irritiert und verändert wird.

Was eben von der LL erzählt wurde, gilt auch von anderen Gasen. Molisch (III. 1911) studierte diesbezüglich den Tabakrauch, Grafe (I—III. 1911) den Formaldehyd.

Und nun zum Schlusse noch etwas von der Steigerung der Lichtempfindlichkeit der Pflanzen, speziell der Keimlinge von Wicken, Erbsen, Kürbis, Kresse, Raps und Hafer durch die gasförmigen Verunreinigungen der Luft, die in pflanzenphysiologischen Laboratorien unvermeidlich sind, und durch andere Narkotika. Schon Fig. 20, Taf. VIII über Versuche

aus dem Jahre 1906<sup>1)</sup> spricht sehr dafür, daß es zur Steigerung der Lichtempfindlichkeit kommt, wenn man Keimlinge von Wicken den genannten Stoffen aussetzt. Es handelt sich in diesem Falle um einen Induktionsversuch mit 23·65 NK auf 73 cm Entfernung, eine Intensität, die wohl bei den Keimlingen der verunreinigten Luft den Heliotropismus auslöste, nicht aber bei den Keimlingen der rL, die völlig vertikal wuchsen. Dabei zeigt das Bild, nebenbei bemerkt, daß die (*V. v.*) *Vicia villosa* oder Sandwicken der LL minder gut reagieren als die (*V. s.*) *Vicia sativa* oder Futterwicken der LL. Es hängt das mit einem verschiedenen Empfindungsvermögen beider Wicken für die gasförmigen Verunreinigungen der LL zusammen.

Nun kann man freilich, wie das auch Guttenberg (1910, 477) getan hat, gegen diese Versuchsanstellung einen berechtigten Einwand erheben. Wir haben ja früher (S. 514) gesehen, daß der negative Geotropismus der Erbsen und Wicken durch die Narkotika ausgeschaltet werden kann. Stellen wir uns nun eine in der Höhe der Keimlinge angebrachte Lichtquelle vor, so wirkt diese nach dem Gesagten allein auf die Keimlinge der LL und nicht wie bei rL-Keimlingen der Futterwicke oder Erbse beide Kräfte, der Heliotropismus und Geotropismus, die einander ja in diesem Falle unter einem rechten Winkel entgegenwirken. Man könnte somit sagen, der unzweifelhaft auftretende Heliotropismus wäre also nicht

---

<sup>1)</sup> Die ausführliche Darstellung der einschlägigen Versuche vgl. bei Richter-Oswald I—VI. 1903—1909.

der Ausfluß einer erhöhten heliotropischen Empfindlichkeit, sondern die notwendige Folge der Ausschaltung des Geotropismus, wodurch die Resultierende eben in die horizontale Komponente fallen müßte.

Um diese Frage zu entscheiden, wurden nun neue Versuche mit elektrisch betriebenen Klinostaten gemacht, die es ermöglichen, auch bei den rL-Objekten die einseitige Wirkung der Schwerkraft auszuschalten.

Gegen die Erbsen und Wicken als Versuchsobjekte lassen sich wegen der früher besprochenen horizontalen Nutation (Fig. 12, 13) nicht unerhebliche Bedenken äußern. Verwendet man Graskeimlinge, z. B. die des Hafers, so erhält man Ergebnisse, wie sie Fig. 21 a, b, Taf. VIII darstellt. Man sieht, wie die Pflanzen, die in einem Gefäße gehalten werden, in dem durch einen Gasschlauch eine Verunreinigung der Luft erzielt wird, alle gegen die Lichtquelle gekrümmt sind, während die Pflanzen der rL die sogenannten Nutationen, Krümmungen nach allen möglichen Richtungen, zeigen. Wenn man nun auch noch dafür sorgt, daß die Keimlinge beim Versuchsbeginne nicht über 8 mm messen, so wachsen die Pflanzen der rL nahezu unbeeinflusst in der Drehungsebene des Klinostaten, während die der verunreinigten Luft deutlichen Heliotropismus zeigen. Dieser Erfolg schließt jeden aus den Nutationen der rL-Pflanzen bei größerer Länge möglicherweise ableitbaren Einwand aus und macht es heute schon, wo die einschlägigen Experimente noch nicht völlig abgeschlossen sind, höchst wahrscheinlich, daß bei Pflanzen aus Narkotikaatmosphäre eine

kürzere Präsentationszeit genügt, um den heliotropischen Effekt auszulösen, als bei den Kontrollkeimlingen in rL. Damit reihen sich aber diese Befunde schon heute sehr gut an jene von Rotherth (1903, 42) an *Gonium pectorale*, einer koloniebildenden, beweglichen Alge an, die durch Chloroform lichtempfindlicher gemacht werden kann, und an die von Loeb (1906, 1909), der an Tieren mit Narkotika analoge Effekte erzielt hat.

Überblicken wir alle eben mitgeteilten Fälle von ungewöhnlicher Empfindlichkeit der Pflanzen, so werden Sie, hochverehrte Anwesende, gewiß zugeben, daß ich nicht zuviel behauptete, wenn ich eingangs meinte, daß die Pflanzen mitunter empfindlicher sind als der Mensch samt seinen vorzüglichen Instrumenten, und mit voller Überzeugung erklärte, daß sich die Pflanzen zum mindesten würdig an die Seite der empfindlichsten Lebewesen stellen und, was die Sauerstoff-Empfindlichkeit anlangt, in ihren Leistungen mit den besten vom Menschen gefundenen chemischen und chemisch-physikalischen Methoden zu konkurrieren vermögen.

---

### Literaturverzeichnis.

- Beijerinck M. W., Photobacteria as a Reactive in the Investigation of the Chlorophyllfunction. Koninkl. Akad. van Wetensch. te Amsterdam, 26. Juni 1901, p. 45.

- Blaauw A. H.; Die Perzeption des Lichtes (Extrait du Recueil des Travaux Botaniques Néerlandais. Volum V, S. 209). 1909.
- Darwin Ch., Insektenfressende Pflanzen. 1876, p. 246.
- Bewegung und Lebensweise der kletternden Pflanzen. 1876, p. 131.
- Emich E., I. Über die Vollkommenheit der experimentellen Methoden des Chemikers. Rede des antretenden Rektors. Graz 1900, k. k. techn. Hochschule.
- II. Mikrochemischer Nachweis von Alkalien und Säuren. Notiz über die Auffindung kleiner Mengen von Ozon im Wasser. Sitzungsber. d. kais. Akad. d. Wissensch. in Wien, math.-naturw. Klasse, Bd. CX, Abt. IIb, Juni 1901, p. [612] 1.
  - III. Notizen über die Lakmusseide. Ebenda. Bd. CX, Abt. IIb, Dez. 1901, p. [1138] 1.
- Engelmann Th. W., I. Neue Methode zur Untersuchung der Sauerstoffausscheidung pflanzlicher und tierischer Organismen. Bot. Zeitung 1881, 39. Jahrg., p. 441.
- II. Über Sauerstoffausscheidung von Pflanzenzellen im Mikrospektrum. Bot. Zeitung 1882, 40. Jahrg., p. 419.
  - III. Zur Technik und Kritik der Bakterienmethode. Bot. Zeitung 1886, 44. Jahrg., p. 43.
  - IV. Die Purpurbakterien und ihre Beziehungen zum Lichte. Bot. Zeitung, 1888, p. 667.
- Fröschel P., Untersuchung über die heliotropische Präsentationszeit (I. u. II. Mitteilung). Sitzungsber. d. kais. Akad. d. Wissensch. in Wien, 2. April 1908 u. 8. Juli 1909.
- Über ein allgemeines reizphysiologisches Gesetz. Naturw. Wochenschr., Neue Folge, 8. Bd., Nr. 27, 4. Juli 1909.
- Grafe V., I. Untersuchungen über das Verhalten grüner Pflanzen zu gasförmigem Formaldehyd. II. Ber. d.

Deutschen Bot. Gesellsch., Jahrg. 1911, Bd. XXIX.,  
Heft 2, p. 19.

Grafe V., II. Die biochemische Seite der Kohlensäure-  
Assimilation durch die grüne Pflanze. Biochem. Zeit-  
schrift, 1911, Bd. 32, Heft 2, p. 114.

— III. Leben und Licht. Naturw. Wochenschr., Neue  
Folge, Bd. X, 1911, Nr. 42, p. 657.

— und Richter O., Über den Einfluß der Narkotika  
auf die chemische Zusammensetzung von Pflanzen I.  
Das chemische Verhalten pflanzlicher Objekte in  
einer Acetylenatmosphäre. Sitzungsber. der kais.  
Akad. d. Wissensch. in Wien., math.-naturw. Klasse,  
Bd. CXX, Abt. I, Dez. 1911, p. [1187] 1.

Guttenberg H. Ritter v., Über das Zusammenwirken von  
Geotropismus und Heliotropismus und die tropisti-  
sche Empfindlichkeit in reiner und unreiner Luft.  
Jahrb. für wissenschaft. Bot., Bd. 47, 1910, p. 462.

Hagem Oskar, Über die resultierende phototropische Lage  
bei zweiseitiger Beleuchtung. Bergens Museums  
Aarbok 1911, Nr. 3.

Loeb J., I. Über die Erregung von positivem Heliotropis-  
mus durch Säure, insbesondere Kohlensäure, und  
vom negativem Heliotropismus durch ultraviolette  
Strahlen. Archiv f. d. gesamte Physiologie Bd. 115,  
1906, p. 564.

— II. Chemische Konstitution und physiologische Wir-  
kung von Alkoholen und Säuren II. Biochem. Zeit-  
schrift 1909, Bd. 23 p. 93.

Molisch H., I. Über Kohlensäure-Assimilationsversuche  
mittelst der Leuchtbakterienmethode. Bot. Zeitung  
1904, 62. Jahrgang, p. 1.

— II. Die Purpurbakterien nach neuen Untersuchungen.  
Jena, Verlag von G. Fischer, 1907.

— III. Über den Einfluß des Tabakrauchs auf die Pflanze.  
(I. u. II. Mitteilung). Sitzungsber. d. kais. Akad. der

- Wissensch. in Wien, Abt. I, Jänner und Juli 1911, Bd. CXX, p. [3] 1 u. [813] 1.
- Molisch H. IV. Das Leuchten der Pflanzen. Vorträge d. Vereines z. Verbr. naturw. Kenntn. in Wien, 1907, 47. Jahrg., H. 5, p. 1.
- Neljubow D., Über die horizontale Nutation der Stengel von *Pisum sativum* und einiger anderen Pflanzen, (vorl. Mitteilung), Beihefte z. Bot. Zentralbl., Bd. X, Heft 3, 1901.
- Geotropismus in der Laboratoriumsluft. Berichte der Deutschen Bot. Gesellsch., 1911, 29. Jahrg., Heft 3, p. 97.
- Pfeffer W., Lokomotorische Richtungsbewegungen durch chemische Reize. Unters. aus d. bot. Institut zu Tübingen, Heft 3, 1884, p. 363.
- Richter Oswald, I. Pflanzenwachstum und Laboratoriumsluft. Ber. d. Deutschen Bot. Gesellsch., Jahrg. 1903, Bd. XXI, Heft 3, p. 180.
- II. Über den Einfluß verunreinigter Luft auf Heliotropismus und Geotropismus. Sitzungsber. d. kais. Akad. d. Wissensch. in Wien, math.-naturw. Kl., Bd. CXV, Abt. I, März 1906, p. [265] 1.
- III. Über Anthokyanbildung in ihrer Abhängigkeit von äußeren Faktoren. Med. Klinik, Jahrg. 1907, Nr. 34.
- IV. Über den Einfluß der Narkotika auf die Anatomie und die chemische Zusammensetzung von Keimlingen. Mit Demonstrationen. Verhandl. d. Gesellsch. deutscher Naturf. u. Ärzte, 80. Vers. zu Köln, 20. bis 26. September 1908, II. T., 1. Hälfte, Abt. f. Bot., p. 189.
- V. Über Turgorsteigerung in der Atmosphäre von Narkotika. Mit Demonstrationen. Lotos, Bd. 56, 1908, Heft 3, p. 106.
- VI. Über das Zusammenwirken von Heliotropismus und Geotropismus. Pringsh. Jahrb. für wissenschaft. Bot., Bd. 46, Heft 4, 1909, p. 481.



- Richter Oswald, VII. Die horizontale Nutation. k. Akad. d. W. Wien, math.-naturw. Kl., Bd. CXIX., Abt. I., Dez., 1910, p. [1051] 1.
- VIII. Untersuchungen über das Magnesium in seinen Beziehungen zur Pflanze (I. Teil), ebenda CXI., Abt. I, April 1912, p. [171] 1.
- Rothert W., Über die Wirkung des Äthers und Chloroforms auf die Reizbewegungen der Mikroorganismen. Ib. f. w. B.; Bd. XXXIX, H. 1, 1903, p. 1.
- Shibata K., Studien über die Chemotaxis der Isoetes-Spermatozoiden. Jahrbücher f. wissensch. Bot., 41. Bd., Leipzig 1905, p. 561.
- Steele und Grant., Proc. of the Royal Soc. A. Vol. 82 nach einem Artikel der Umschau 1911, Nr. 4, p. 78. Eine Wage zur Bestimmung von  $\frac{1}{10000}$  Milligramm.
- Strasburger E., Die Befruchtung bei den Farnkräutern. Jahrb. f. wissensch. Bot., 7. Bd., Leipzig 1869—1870, p. 390.
- Vöchting H., Über eine abnorme Rhizombildung. Bot. Zeitung. 1889, p. 501.
- Wiesner J., Die heliotropischen Erscheinungen im Pflanzenreiche. Eine physiologische Monographie. I. Teil, 1878. Sep. aus d. 39. Bd. d. Denkschr. d. kais. Akad. d. Wissensch. in Wien, math.-naturw. Kl.
-

## Tafelerklärung (Taf. I).

- Fig. 1.<sup>1)</sup> Schematische Darstellung eines Farnprothalliums, stark vergrößert. ♀ Platz der weiblichen Geschlechtsorgane, Archegonien; ♂ Platz der männlichen Geschlechtsorgane (Antheridien). Rh. Rhizoiden = Wurzelhaare.
- „ 2. Antheridien mit Spermatozoiden, den männlichen Geschlechtszellen (nach Strasburger). V. 350.
- „ 3. Archegonium eines Farns (nach Strasburger), 350fach vergrößert. In seinem Grunde die große plasmareiche Eizelle. h Halskanalzellen.
- „ 4. Im Text, S. 488.
- „ 5. Oberer Teil eines Archegoniums mit den einschwärmenden Spermatozoiden (nach Strasburger). Infolge der Verschleimung der Halskanalzellen des Archegoniums haben sich die Spermatozoiden gestreckt.
- „ 6 a und b.<sup>1)</sup> Pfeffers Spermatozoiden- oder Bakterienfalle:
- „ 6 a beim Eintragen in den Spermatozoidentropfen,
- „ 6 b nach dem Einschwärmen der Samenfäden.

---

<sup>1)</sup> Diese Figuren sowie sämtliche Reproduktionen aus den Arbeiten von Strasburger, Engelmann und Molisch wurden von Herrn Demonstrator J. Gicklhorn gezeichnet, dem ich auch hier für seine große Mühe meinen innigen Dank sagen möchte.

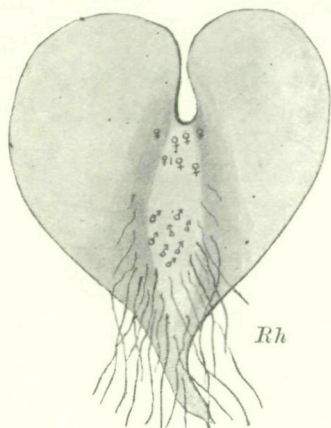


Fig. 1.

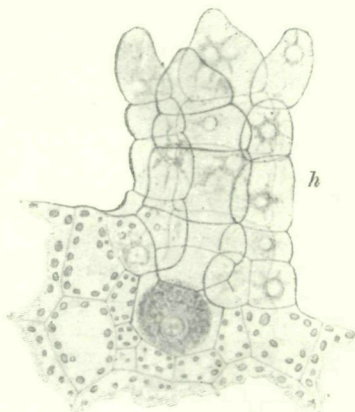


Fig. 3.

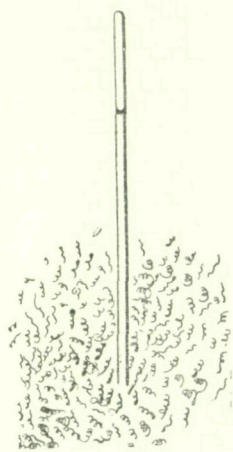


Fig. 6 a.

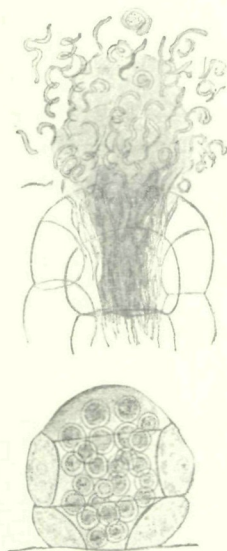


Fig. 2.

Fig. 5.

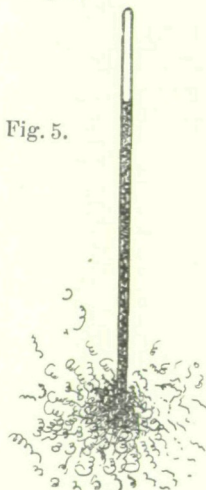


Fig. 6 b.

## Tafelerklärung (Taf. II).

- Fig. 7. Ansammlung sauerstoffempfindlicher Spirillen um eine Luftblase [die Luftblase wurde, um die Bakterien recht hervortreten zu lassen, nicht gezeichnet]. (Gez. von Gicklhorn.)
- „ 8. Ansammlung sauerstoffempfindlicher Spirillen um ein *Closterium*, hervorgerufen durch die O-Ausscheidung der bei Beleuchtung assimilierenden Alge. — Engelmanns Bakterienprobe. (Gez. von Gicklhorn.)
- „ 9. Stück einer *Cladophora* mit schwärmenden Bakterien im Mikrospektrum von Sonnenlicht. Die Chlorophyllkörner, welche die Zelle sehr gleichmäßig erfüllen, sind weggelassen, dagegen das Absorptionsband zwischen *B* und *C* und die zwischen *b* und *F* beginnende Absorption des violetten Endes angedeutet (Figur und Figurenerklärung nach Engelmann II).
- „ 10 a und b. Wiesners Photometerversuch in der Ausführung von Hagem, *a* von der Seite, *b* von oben. Die mittleren Keimlinge sind im Verhältnis 1:1 zu beiden Lichtquellen gekrümmt, die Flankenkeimlinge wenden sich gegen die Mitte (nach Hagem).
-

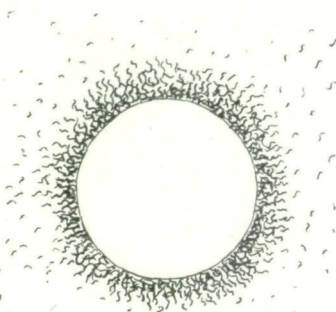


Fig. 7.

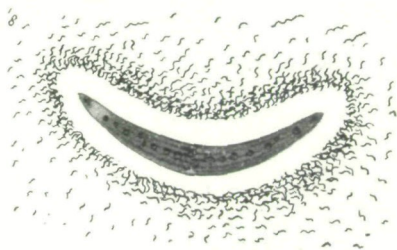


Fig. 8.

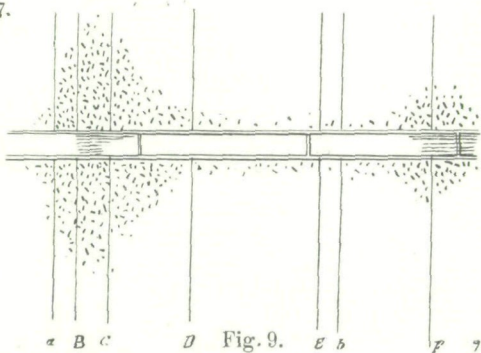
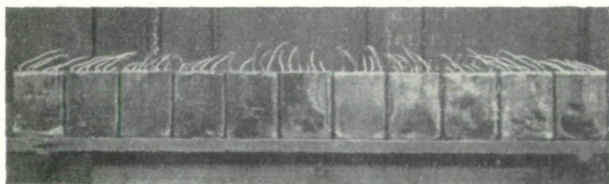


Fig. 9.



a



b

Fig. 10.

## Tafelerklärung (Taf. III).

Fig. 11. Engelmanss Purpurbakterien-Lichtfalle in der Ausführung von Molisch (nach Molisch).

a Anhäufung der Purpurbakterien an einem Punkte unter einem schwarzen Papier, das für den Lichtdurchtritt durchstochen war, in dem dadurch erzielten Lichtkreise.

b Eine von Molisch gewonnene Schattenfigur.

„ 12 a und b. Versuch mit rL-Erbsen am Klinostaten, a von vorne, b von der Seite aufgenommen (Orig.).

Da die Gefäße 1 und 2 einander in der Seitenansicht völlig gleichen, wurde in b nur Gefäß 1 photographiert, dafür die vertikalstehenden Kontroll Exemplare mit aufgenommen.

Für den Versuch wurden Keimlinge, die eben die Samenschale durchbrachen (1), solche von 2 mm (2), solche von 5 mm (3) und solche von über 10 mm (4) Stengellänge verwendet. Zur Kontrolle wurden stets je 2 Keimlinge jeder Länge in das Kontrollgefäß eingesetzt.

Die Versuchspflanzen wurden an einem Klinostaten im Warmhause des Prager pflanzenphysiologischen Institutes rotiert.

Der Versuch lehrt, daß durch die einseitige Wirkung der Schwerkraft (Kontrollg.) jene Krümmung maskiert wird, deren Existenz man nur durch die Ausschaltung der einseitigen Schwerkraftswirkung am Klinostaten und durch die Wirkung der LL<sup>1)</sup> oder anderer Narkotika erkennen kann, die als horizontale Nutation bezeichnet wird.

Dabei tritt diese Krümmung am besten zutage, wenn die Keimlinge bei vertikaler Aufstellung in rL<sup>1)</sup> die Länge von 10 mm noch nicht erreicht haben.

---

<sup>1)</sup> LL = Laboratoriumsluft; rL = reine Luft.

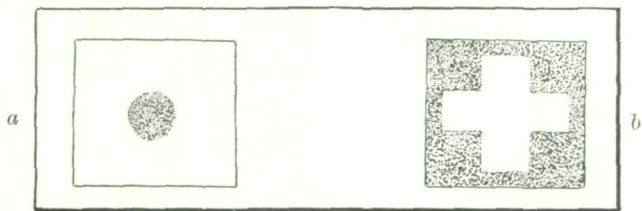
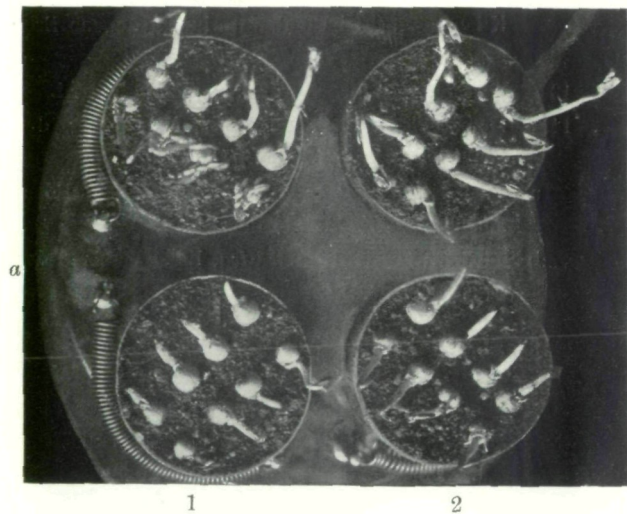


Fig. 11.

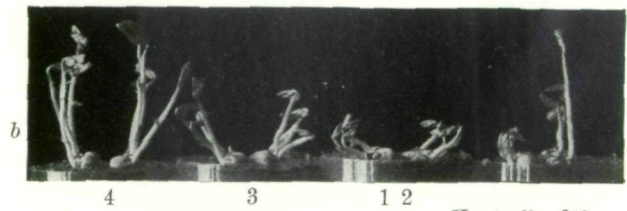
3

4



1

2



4

3

1 2

Kontrollgefäß

Fig. 12.

## Tafelerklärung (Taf. IV).

Fig. 13 a und b. In vertikal stehendem Topfe (a) und am Klinostaten (b) im Laboratorium gezogene Erbsenkeimlinge.

„ 13 c. Vertikal gestellte Kontrollexemplare aus rL.

„ 14. Hemmung des Längen- und Förderung des Dickenwachstums durch LL.

a bei der Bohne, *Phaseolus multiflorus*, links Pflanzen der rL, rechts die der LL,

b bei der Wicke, *Vicia sativa*, links Pflanzen der rL, rechts der LL.

Die Fig. 13—21 sind Originalfiguren.

---



*a*

Fig. 13.

*b*

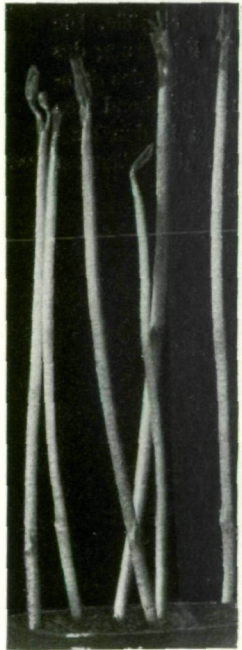
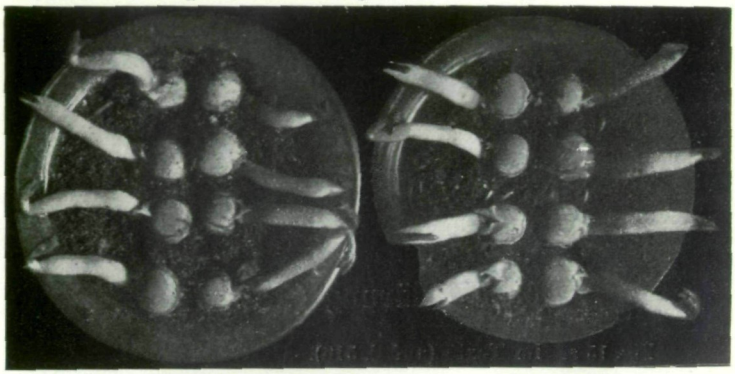


Fig. 13 c.

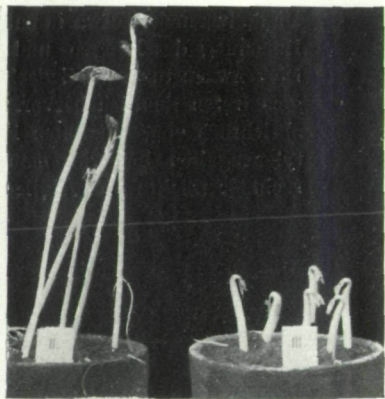


Fig. 14 a.

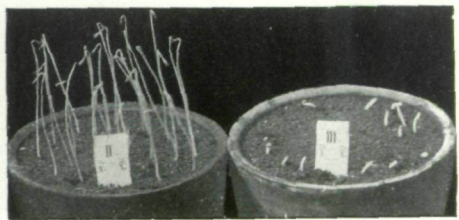


Fig. 14 b.

## Tafelerklärung (Taf. V a).

Fig. 15 a. Im Texte (auf S. 516).

- „ 15 b. Die Azetylenpflanzen des in 15 a dargestellten Dunkelversuches etwa in natürlicher Größe. Die Hemmung des Längen- und die Förderung des Dickenwachstums der Zwischenglieder des Stengels treten deutlich hervor. Entsprechend den absichtlich eingeschalteten Pausen in den Azetylenzugaben bemerkt man an den Pflanzen rechtsgestreckte Stengelglieder.
-

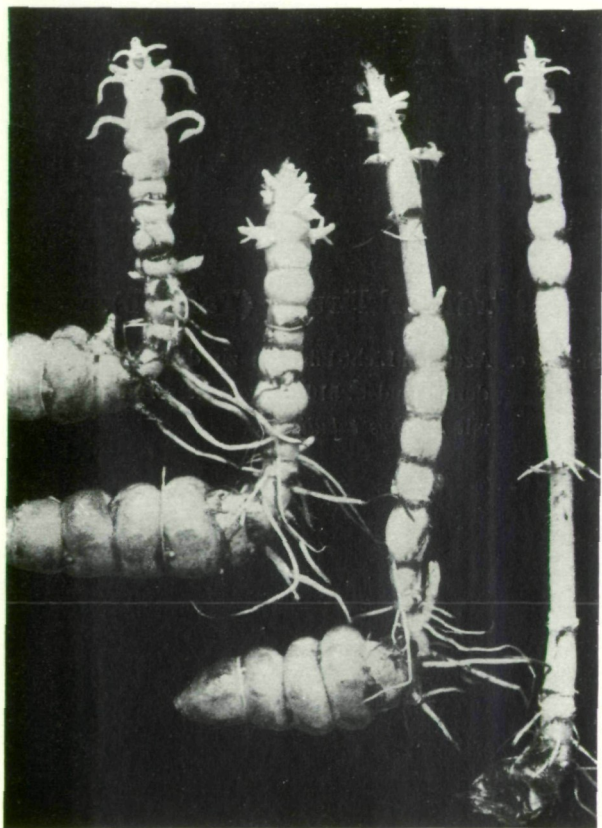


Fig. 15 b.

## Tafelerklärung (Taf. Vb).

Fig. 15 c. Azetylen-Licht-Pflanzen zu dem S. 515 geschilderten und S. 516 dargestellten Dunkelversuche mit *Stachys tubulifera*.

---

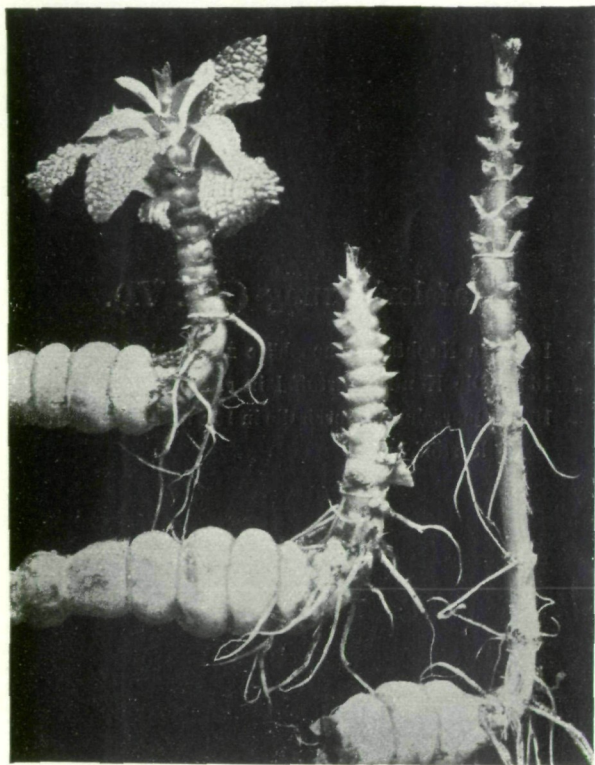


Fig. 15 c.

## Tafelerklärung (Taf. VI).

- Fig. 16 a. In Naphtalinatmosphäre zerplatzte Kartoffel.  
„ 16 b. Die Kontrollkartoffel in rL.  
„ 16 c. Querschnitte durch die in 16 a und b dargestellten Kartoffeln.
-

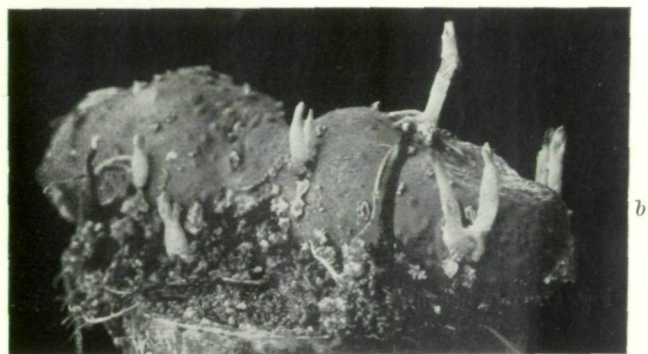


Fig. 16.

## Tafelerklärung (Taf. VII).

- Fig. 17. In Leuchtgasatmosphäre zersprengte Kürbiskeimlinge.
- „ 18. In Benzolatmosphäre zersprengte Bohnen.
- „ 19 a. Hemmung der Zirkummutationsbewegung bei Sonnenblumenkeimlingen durch Laboratoriumsluft, links Pflanzen der rL, rechts die der LL.
- „ 19 b. Hemmung der Zirkummutationsbewegung bei Kürbiskeimlingen durch Laboratoriumsluft, links Pflanzen der rL, rechts die der LL.
-



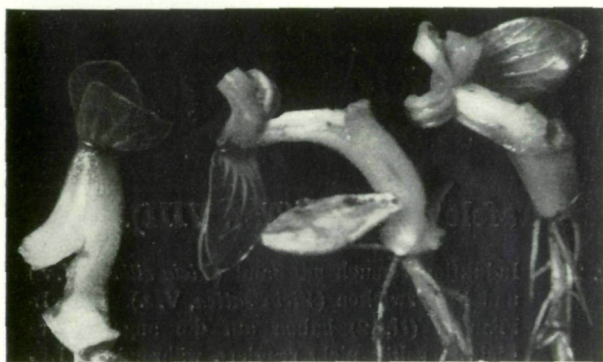


Fig. 17.

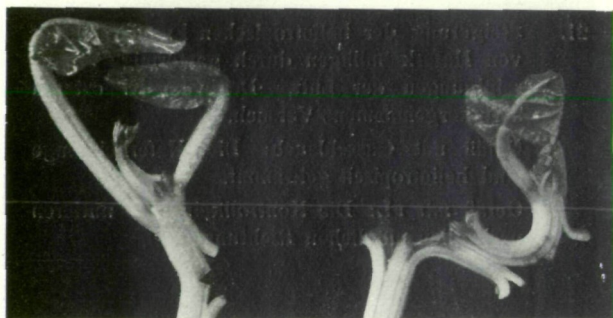


Fig. 18.

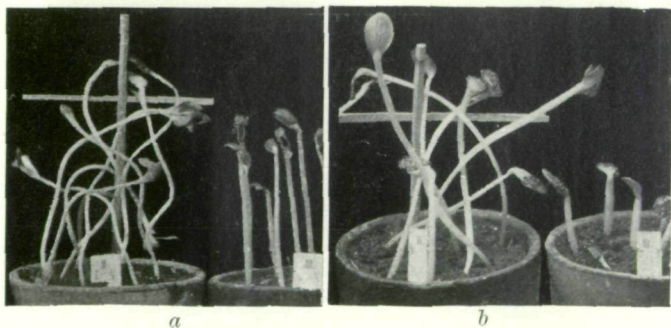


Fig. 19.

## Tafelerklärung (Taf. VIII).

- Fig. 20. Induktionsversuch mit Sand- (*Vicia villosa*, V.v.) und Futterwicken (*Vicia sativa*, V.s.). Die rL-Pflanzen (II, 2) haben auf die angewendete Lichtintensität nicht reagiert, während die LL-Pflanzen (I, 1) deutlichen Heliotropismus zeigen.
- „ 21. Steigerung der heliotropischen Empfindlichkeit von Haferkeimlingen durch gasförmige Verunreinigungen der Luft. Der vom Klinostaten heruntergenommene Versuch.
- a Gefäß mit Gasschlauch: Die Haferkeimlinge sind heliotropisch gekrümmt.
  - b Gefäß mit rL: Die Kontrollkeimlinge nutieren nach allen möglichen Richtungen.
-

Fig. 20.

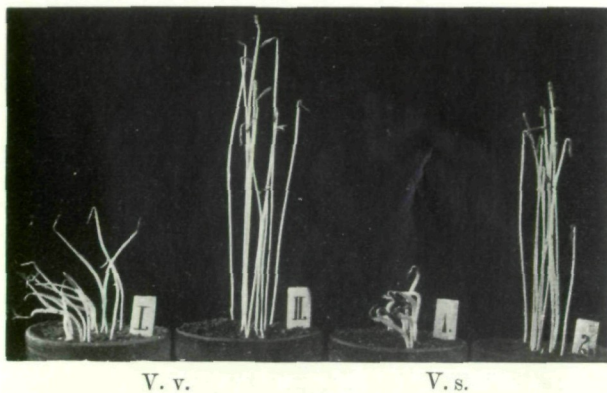


Fig. 21.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1912

Band/Volume: [52](#)

Autor(en)/Author(s): Richter Oswald

Artikel/Article: [Beispiele außerordentlicher Empfindlichkeit der Pflanzen. \(8 Tafeln.\) 485-525](#)