Über die Anziehung der Organismen durch das Licht.

Von **Dr. Em. Rádl.**

Hierzu eine Figur im Text.

Die Untersuchungen über den Phototropismus haben mich zu dem Schlusse geführt,[1]) dafs in der Richtung des phototropisch wirksamen Lichtstrahls ein Druck oder Zug auf den reagierenden Organismus ausgeübt wird, welcher als Reiz auf den Organismus wirkt, und dessen Folge die Orientierung, orientierte Bewegung oder orientiertes Wachstum gegen das Licht ist. Ich habe auch die Hoffnung ausgesprochen, dafs es vielleicht gelingen wird, diese Theorie durch geeignete Versuche an den Pflanzen nachzuweisen. Ich will in dieser Abhandlung über Versuche berichten, die ich bisher in dieser Hinsicht angestellt habe, und die mich nach vielem fruchtlosen Bemühen doch zu einem einigermafsen befriedigenden Resultat geführt haben.

Es sei zuerst das Problem kurz erklärt. Bekanntlich stellen sich manche Pflanzenorgane, seitlich belichtet, in eine bestimmte Orientierung gegen das Licht; auch freie Algenschwärmer und die mannigfachsten Tiere sind entweder genötigt oder wenigstens imstande, eine bestimmte Orientierung gegen eine Lichtquelle einzunehmen. Populär sagt man, dieselben seien durch das Licht angezogen; in der Wissenschaft werden verschiedene Theorien angenommen, welche diese Tatsachen erklären sollen. Es streiten noch die Philosophen darüber was das bedeutet, dafs das menschliche Auge sich nach einem Punkte wenden kann; ebensowenig weifs man das Sehen der Tiere (d. h. ihre Orientierung gegen das Licht) auf irgendwelche bekannte Tatsachen zurückzuführen — ich habe in meiner oben zitierten Arbeit auf die Unzulänglichkeit der bisher zu diesem Zwecke aufgestellten Theorien hingewiesen; was endlich die Pflanzen betrifft, so glaubt man zwar eine Erklärung für deren Krümmungen in die Richtung des Lichtes gefunden zu haben, indem man auf die Verschiedenheit des Zellturgors und des Wachstums auf der belichteten und der beschatteten Seite hinweist; man ist jedoch auch bezüglich der Pflanzen in vollständiger Unklarheit darüber, worin eigentlich die Reizwirkung des Lichtes besteht, durch welche die eben erwähnten Mechanismen des Turgors und Wachstums ins Spiel gesetzt werden, denn man hat bald

1) Unters. üb. d. Phototropismus d. Tiere. Leipzig, W. Engelmann 1903.

erkannt, dafs die von P. De Candolle angezogene Tatsache, dafs die beleuchteten Pflanzenorgane langsamer wachsen als die beschatteten, nicht auf den Phototropismus, namentlich nicht auf den negativen Phototropismus, angewendet werden kann.

Die meisten Pflanzenphysiologen glauben, dafs es Unterschiede der Lichtintensität sind, welche die phototropische Krümmung der Pflanzenorgane verursachen. Wenn z. B. ein Pflanzenkeimling, der im Dunkeln aufrecht stand, einseitig beleuchtet wird, so trifft seine beleuchtete Seite offenbar eine gröfsere Lichtmenge als die entgegengesetzte und zwar einmal, weil diese von der Lichtquelle mehr entfernt ist, dann aber auch wegen der Lichtabsorption im Innern des Keimlings; ob nur die eine Art der Lichtabnahme oder beide zusammen wirken, hat man nicht analysiert, obwohl es nicht ganz unwesentlich ist, denn mit der phototropischen Krümmung ändern sich wohl die Lichtverhältnisse auf beiden Seiten des Keimlings. Ob aber die durch die Krümmung neu entstehenden Verhältnisse eine Annäherung an das schliefslich erfolgte Ergebnis, nämlich die gleiche Beleuchtung aller Seiten des Keimlings bedeuten müssen, wird kaum in allen Fällen zutreffend sein.

Doch ich will derlei Kleinigkeiten übergehen und den wesentlichsten Punkt der Theorie hervorheben. Die Annahme, dafs die Intensitätsunterschiede den Phototropismus verursachen, behauptet, dafs nur die Lichtmenge, nicht die Strahlenrichtung dabei entscheidend ist. Die Pflanze wird dabei als ein System innerer Kräfte betrachtet, welche Kräfte aber nur mechanisch zusammenhängen: die Vorderseite des Keimlings wird als ein Kraftsystem für sich, die Hinterseite als ein anderes Kraftsystem betrachtet und beide Systeme hängen nur insofern miteinander zusammen, als die Vorder- und Hinterseite verwachsen sind. Wird dem vorderen Kraftsystem neue Energie zugeführt, arbeitet es für sich und ebenfalls das hintere System. Ganz ebenso arbeitet z. B. ein feuchtes, einseitig erwärmtes Brett: Die feuchte und die trockene Seite arbeiten jede für sich und die Krümmung ist nur die Folge des mechanischen Zusammenhanges beider Seiten. Es ist nun sehr beachtenswert, dafs, was die lebendigen Pflanzen anbelangt, nur eben ad hoc angenommen wird, dafs deren Vorder- und Hinterseite bei einseitiger Beleuchtung nur mechanisch zusammenhängen; denn sonst ist doch die Tatsache ganz bewiesen und anerkannt, dafs, falls Gleichgewichtsstörungen in der Pflanze auftreten, dieselben alsbald wieder durch innere Leitungsvorgänge ausgeglichen werden.

Die Krümmung eines Pflanzenkeimlings gegen den Lichtstrahl ist mit Energieverbrauch verknüpft. Mit der Annahme, dafs nur die Lichtmenge die Krümmung verursacht, nimmt man zugleich an, dafs sich die Pflanze nur aus ihren inneren Kräften krümmt. Eine jede solche Krümmung ist mit einer Verschiebung eines Teils der Pflanzensubstanz in der Richtung gegen das Licht verbunden, denn der Scheitel des Keimlings wird dabei dem Licht genähert. Wenn es nun richtig ist, dafs nur innere Kräfte diese Krümmung verursachen, so mufs die Arbeit, welche bei der Verschiebung der Pflanzensubstanz gegen das Licht verbraucht war, ein negatives Äquivalent haben, oder mit anderen Worten, es mufs entweder eine äquivalente Verschiebung der Pflanzensubstanz vom Licht weg an dunklen Pflanzen stattgefunden haben, oder ein dieser Verschiebung äquivalenter Druck. Wenn sich

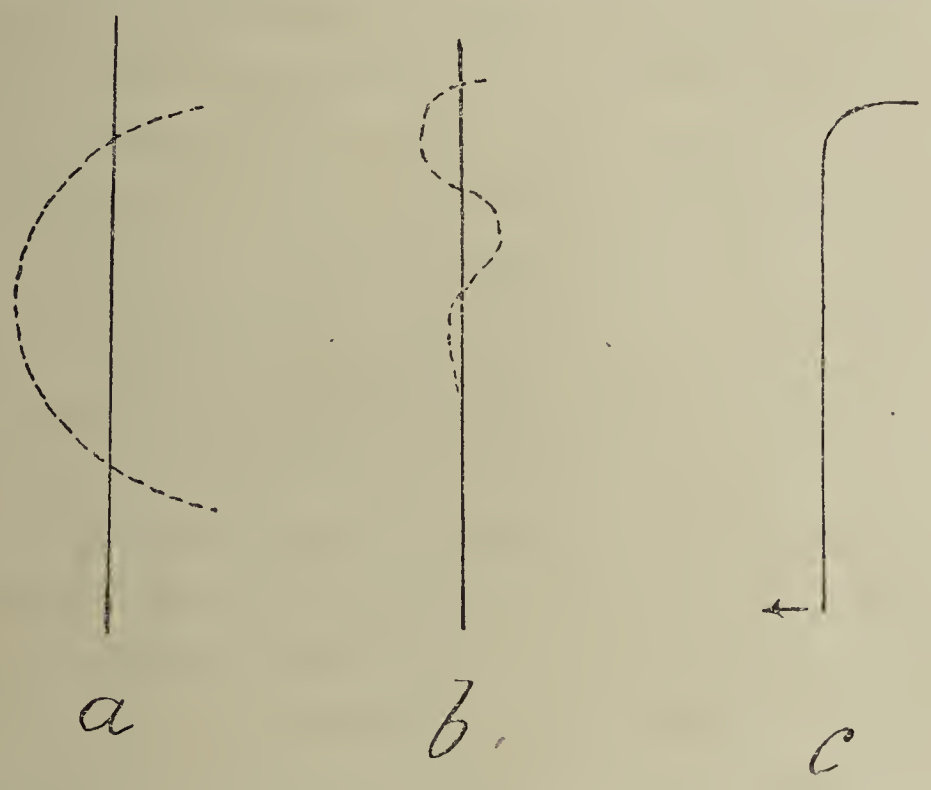


Fig. 1. Schematische Darstellung der Krümmungsformen aus inneren Kräften: Bei *a* ist das ganze Stäbchen frei und gleich krümmungsfähig, bei *b* krümmt sich nur der obere Teil, bei *c* ist der untere Teil befestigt und drückt bei der Krümmung auf der Unterlage in der Richtung des angedeuteten Pfeiles.

z. B. ein aufrechtstehendes Holzstäbchen durch einseitige Erwärmung krümmen würde, so würde sich ein Teil desselben der Wärmequelle nähern, ein äquivalenter Teil sich von derselben entfernen. Das Stäbchen würde z. B. die Form annehmen, wie sie auf der Fig. 1 *a* punktiert angedeutet ist, denn ein System innerer Kräfte kann seinen Schwerpunkt in keiner Richtung verschieben. Ein Wickenkeimling, dessen Rückenseite (d. h. die phototropisch empfindlichste Seite) dem Licht zugekehrt ist, sollte sich nach diesem Postulat etwa wie es an der Fig. 1 *b* angedeutet ist, krümmen.

Da er dies bekanntlich nicht tut, sondern aufser dem oberen sich gegen das Licht krümmenden Teil in den ersten Stadien gerade bleibt (Fig. 1 *c*), so mufs die Pflanze in der Richtung vom Licht weg auf den Boden einen Druck ausüben, der der Kraft äquivalent ist, mit welcher der Scheitel des Keimlings gegen das Licht verschoben wurde, ganz ebenso wie wir, einen schweren Gegenstand vor uns treibend, einen äquivalenten Druck in entgegengesetzter Richtung auf den Boden ausüben müssen.

Nun ist es zweifellos, dafs der Wickenkeimling am Boden Stütze genug findet, um sich auf diese Art nun aus inneren Kräften ausgiebig krümmen zu können; nicht ganz so überzeugend scheint mir der Fall bei langen, fadenförmigen Wasseralgen zu sein. Eine mehrere Dezimeter lange, sehr dünne Alge ist zwar auch im Boden eingewurzelt und man kann sie theoretisch wohl einem festen Stab vergleichen, der bei der Krümmung an dem Boden eine gehörige Stütze findet, wenn man aber die halbflüssige Substanz der Alge, den ziemlich losen Zusammenhang der Zellen, den sehr geringen Druck, mit dem sie auf den Boden sich stützt, beachtet, so scheint es mir bereits sehr unwahrscheinlich zu sein, dafs die bekanntlich sehr starke Krümmung mancher fadenförmigen Algen dadurch zustande kommen würde, dafs der untere ungekrümmte Teil der Alge als ein unbiegsamer Stab funktioniert, an dessen oberen Ende die phototropische Verschiebung der Massen geschieht, deren unteres Ende aber mit einer äquivalenten Kraft in entgegengesetzter Richtung drückt. Ich glaube, dafs wenn nur innere Kräfte im Spiele sein würden, die Alge sich viel eher in der Art krümmen würde, wie die punktierte Linie in Fig. 1 *a* zeigt.

Diese Betrachtung gilt selbstverständlich nicht nur für den Fall, wenn die Alge sich gegen das Licht krümmt, sondern auch wenn sie wachsend neue Massen in der Richtung gegen das Licht vorschiebt. Wenn nur innere Kräfte diese Verschiebung verursachen, so kann die Alge nur so lange gegen das Licht wachsen, als sie am Boden befestigt an denselben sich stützen kann; eine fadenförmige freischwebende Alge könnte ihren Scheitel nur in der Art gegen das Licht wenden, dafs sie andere Teile ihres Körpers vom Licht zurückschieben würde.

Ich glaube nicht, dafs es die Lichtintensität ist, welche den Phototropismus verursacht, sondern dafs der Lichtstrahl die Ursache desselben ist. Bereits J. Sachs hat diese Tatsache behauptet, für zoologische Objekte ferner J. Loeb und nach ihm einige andere; doch hat die Theorie nicht viel Glück gehabt. Was für und gegen

dieselbe angeführt worden ist, habe ich in der oben zitierten Abhandlung erörtert; hier soll dieselbe nur weiter entwickelt werden.

Das Problem, das diese Theorie zu beantworten hat, ist: wie ein Lichtstrahl physiologisch wirken kann? Was ist das: ein physiologischer Lichtstrahl? Man hat sich sehr daran gewöhnt unter dem Lichtstrahl sich nur etwas Geometrisches, nur eine Linie vorzustellen, die man in beliebiger Richtung ziehen kann, welcher man nur der Einfachheit wegen eine bestimmte Richtung gibt. Wenn jedoch der Lichtstrahl, d. h. die Richtung des Lichtes wirkt, so mufs offenbar diese Richtung etwas Objektives sein. Das Reale an dem Lichtstrahl ist, dafs er die Fortpflanzungsrichtung des Lichtes angibt, dafs senkrecht zu derselben die das Licht bedingenden periodischen Veränderungen des Lichtäthers geschehen, und dafs — nach neueren Untersuchungen — in der Richtung des Lichtstrahls ein feiner Druck vorhanden ist. Da die phototropischen Erscheinungen in einer Verschiebung der lebenden Substanz in der Richtung des Lichtstrahles bestehen, so ist es am natürlichsten, an die letztgenannte Eigenschaft des Lichtstrahles, nämlich an die Spannung, die in seiner Richtung vorhanden ist, zu denken. Es ist nicht nötig anzunehmen, dafs eben die physikalisch bekannte Spannung die physiologisch wirksame sei: wie z. B. ein Magnet die Spannungsverhältnisse in einem magnetischen Felde verändert, wie verschiedene Körper verschieden stark auf den Magnetismus reagieren, so kann man ganz Analoges auch von der lebendigen Substanz annehmen und experimentell prüfen; auch sie kann sich im Lichtfelde anders als die toten Massen verhalten.

Wenn man zur experimentellen Prüfung der Theorie, dafs der Lichtstrahl die phototropisch reagierende lebendige Substanz anzieht, schreiten will, so mufs man sich zuerst dessen bewufst werden, dafs die Werte, die da herauskommen werden, jedenfalls sehr klein sein müssen, vielleicht so klein, dafs sie praktisch nicht aufzufinden sind. Man beachte z. B. folgende Analogie: Das diamagnetische Moment des Wismuts verhält sich zu dem des Eisens wie 1 : 1,470.000. Der Strahlungsdruck der direkten Sonnenstrahlen auf einen Quadratmeter, den die Strahlen senkrecht treffen und von welchem sie vollständig resorbiert werden (in welchem Falle der Druck maximal ist), ist nicht ganz 1 mg grofs [1]); ich schätze den physikalischen Strahlungsdruck,

1) Die Messungen von G. Lebedew (Wied. Ann. 6, 1901) und andererseits von Nichols und Hull (ibid. 12, 1903) haben nicht zu übereinstimmenden Werten geführt, doch stimmen beide Autoren darin überein, dafs jener Druck nicht über 1 mg beträgt.

der auf einen Keimling von Vicia bei der geringen physiologisch noch wirksamen Beleuchtung wirkt, gewifs zu hoch, wenn ich ihn durch einen Wert ausdrücke, der 10^{10}mal geringer als der Druck eines Milligramms ist. Wenn ich nun den physiologischen Zug der Lichtstrahlen — analog dem Verhältnis des Magnetismus bei verschiedenen Substanzen — als 10^{6}mal gröfser annehme als den physikalischen Druck, so ist der physiologische Zug der Lichtstrahlen immer noch 10 000mal kleiner als der Druck eines Milligramms — jedenfalls ein sehr feiner Zug. Dieser Vergleich orientiert uns, glaube ich, gut über die Schwierigkeiten, die da einer experimentellen Untersuchung im Wege stehen.

Wir können auch anders zu der Überzeugung gelangen, dafs ein solcher Zug der Lichtstrahlen, falls er überhaupt existiert, sehr klein sein mufs. Das mechanische Äquivalent der in einem Lichtstrahl enthaltenen Energiemenge, namentlich wenn man nur den kalten Teil des Spektrums (welcher bekanntlich phototropisch der wirksamste ist) betrachtet, ist jedenfalls sehr klein. Nun beachte man, dafs für *Vicia sativa* das Optimum der phototropischen Wirkung der Lichtstrahlen bei einer Intensität von nicht ganz drei Normalkerzen, das Minimum jedenfalls unter 0.05 einer Normalkerze liegt.[1]) Ich wage es nicht, eine Zahl anzugeben, die die Menge Energie ausdrücken würde, welche im letzteren Falle die Pflanze trifft. Nun beachte man, dafs diejenigen, welche den Phototropismus auf Intensitätsunterschiede zurückführen, anzunehmen genötigt sind, dafs die Pflanze nicht nur diese Energie, sondern sogar den ungeheuer feinen Unterschied der Energie empfindet, welche sie an der belichteten und der, welche sie an der beschatteten Seite trifft. Jedenfalls kommt man da auf ungemein kleine Energiewerte.

Tatsache ist, dafs die Organismen auf sehr feine Energiewerte reagieren. Die Reaktion der Pflanzen auf den mechanischen Druck wird zwar gewifs nicht unter die feinsten Reaktionen der Pflanzen zählen, und doch reagiert z. B. nach Ch. Darwin[2]) *Passiflora gracilis* bereits auf einen Druck, der etwas über 1 mg beträgt, und *Clematis flammea* reagiert nach demselben Autor auf einen noch feineren Druck. Was die feineren Sinnesorgane betrifft, so führe ich die Messungen von H. Zwaardemaker und F. H. Quix[3]) an,

---

1) J. Wiesner, Die heliotropischen Erscheinungen im Pflanzenreiche. Denkschr. Wien. Akad. 1879, 1880.

2) Ch. Darwin, The movements and Habits of Climbing Plants.

3) H. Zwaardemaker und F. H. Quix in Neederl. Tijdschr. v. Geneeskunde 2. (9) 1902.

nach welchen die Energie der Schallwellen, welche zur Wahrnehmung derselben durch das Gehör des Menschen nötig ist, nur $36{,}6.10^{-8}$—$0{,}7.10^{-8}$ ergs betragen soll.

Ich habe diese Analogien angeführt, einmal um das Vorurteil gegen eine Theorie abzuschwächen, welche aus sehr kleinen Energiewerten den Phototropismus erklären will, anderseits aber um auf die Schwierigkeiten der experimentellen Prüfung der Theorie hinzuweisen.

Ich habe zuerst geprüft, ob verschiedene lebendige Organismen, Fliegen, Käfer, der Kopf eines frischgetöteten Frosches, nach der Art einer Magnetnadel auf einem je nach dem Gewicht des Versuchsobjekts verschieden dicken Kokonfaden aufgehängt und, nachdem sie eine Ruhelage eingenommen, seitlich beleuchtet, nicht durch einen Ausschlag aus der Ruhelage die Beleuchtung beantworten. Nach vielem fruchtlosen Bemühen habe ich diese Versuche aufgeben müssen, da ich wohl bei jeder Lichtintensität nach $^1/_2$ Minute bis nach 2 Stunden einen Ausschlag, eine Annäherung an das Licht, konstatieren konnte, es konnte aber niemals nachgewiesen werden, dafs dieser Ausschlag nicht thermischen (radiometrischen) Ursprungs ist. Insbesondere blieb der Ausschlag nicht bei den getöteten Objekten aus, und er war ebenso bei rotem wie bei blauem Licht zu konstatieren.

Bekanntlich bestehen die radiometrischen Drehungen der beleuchteten Körper darin, dafs die beleuchtete Seite des Objekts und von ihr die angrenzenden Luftschichten erwärmt und verdünnt werden; infolgedessen bewegt sich der auf dem Kokonfaden hängende Gegenstand gegen diese erwärmte Luftschichten und nähert sich so dem Licht. Auch die geringsten Lichtintensitäten, mit welchen ich arbeiten konnte, haben innerhalb der Zeit, innerhalb welcher eine phototropische Reaktion merklich wird, eine Drehung verursacht.

Ich habe deshalb folgende Versuchsanordnung getroffen: Ein rundes Glasgefäfs, etwa 2 dm breit und 1 dm hoch, wurde mit einem Glasdeckel, der in der Mitte eine runde Öffnung hatte, bedeckt. Über die Öffnung des Deckels habe ich ein kleines Glasgefäfs umgestülpt, auf dessen Boden ich einen einfachen Kokonfaden, etwa 6 cm lang, befestigt hatte. Am Ende des Fadens habe ich ein leichtes zugespitztes Glashäkchen aufgehängt, welches also frei im Raum des Gefäfses hing.[1]) Das spitze Ende des Häkchens konnte in den Samen der keimenden Pflanze eingestochen werden, so dafs die Keimlinge dann auf dem Kokonfaden horizontal wie eine Magnetnadel im Glas-

1) Ich habe anfänglich anstatt des Glashäkchens eiserne Stecknadeln benutzt, doch hat ihr Magnetismus die Versuche sehr gestört.

gefäfs schwebten. Die inneren Wände des Gefäfses wurden mit feuchtem, dunklem Papier belegt, auf dafs der Keimling längere Zeit lebendig bliebe; nur an einer Seite blieb ein Spalt etwa 1 cm breit und 3 cm hoch, der die Lichtstrahlen hineinliefs. Um die Wärmewirkungen möglichst abzuschwächen, habe ich das ganze Gefäfs in ein gröfseres Glasgehäuse gelegt und darin befestigt und zwischen die Wände eine konzentrierte Alaunlösung gegossen. Das gröfsere Gefäfs wurde überdies mit einer doppelten Schicht von schwarzem Tuch umgeben, ausgenommen wieder jenen obenerwähnten Spalt. Überdies wurde noch vor den Spalt ein viereckiges etwa 3 cm breites Glasgefäfs gestellt, welches ebenfalls mit Alaunlösung gefüllt war. Vor dieses Gefäfs konnten farbige Gläser gestellt werden. Der ganze Apparat, den Spalt wieder ausgenommen, wurde mit einer doppelten Schicht von schwarzem Tuch bedeckt, auf dafs das von oben kommende Licht nicht störend wirke. Der Apparat stand auf einer schweren Konsole in einer Ecke meines Versuchszimmers. Als Lichtquelle habe ich das Tageslicht benutzt und abends das Licht einer kleinen Öllampe. Diese beiden Lichtquellen beleuchteten das Innere des Gefäfses so wenig, dafs der Keimling eben noch sichtbar war. Trotzdem waren noch bei dieser Versuchsanordnung die radiometrischen Wirkungen fühlbar.

Ich habe immer mit zwei Keimlingen experimentiert. Der eine hing frei an dem Kokonfaden, der andere wurde ebenfalls in horizontaler Lage an einem Korkstöpsel befestigt und dieser auf den Boden des Gefäfses gelegt. Die erste Aufgabe war nun, beide Keimlinge in eine parallele Lage zu bringen, was oft sehr viel Zeit beansprucht hat und woran oft der Versuch gescheitert ist. Bei physikalischen Versuchen ist es sehr leicht, die Ruhelage des Kokonfadens aufzufinden und durch geeignete Drehung dem an demselben hängenden Gegenstand eine beliebige Lage zu erteilen. Da aber bei den hier beschriebenen Versuchen der Versuchsraum ganz durchfeuchtet war und es sein mufste, so setzten sich alsbald auf dem Kokonfaden kleine Wassertropfen an, welche seine inneren Torsionskräfte oft ganz auf den Kopf gestellt haben, so dafs keine Drehung den Keimling in die gewünschte Lage bringen konnte.

Nachdem es geglückt war, beide Keimlinge parallel und zwar in eine gegen die Richtung der einfallenden Lichtstrahlen senkrechte Lage zu orientieren, wurden sie mehrere Stunden beleuchtet in vollständiger Ruhe gelassen. Von Zeit zu Zeit habe ich mich überzeugt, dafs die Ruhelage des schwebenden Keimlings wirklich eingehalten

wurde, welches nötig war, da oft die obenerwähnten Ursachen die Ruhelage des Kokonfadens verändert haben. Während eines solchen Versuchs konnte nun konstatiert werden, dafs der Keimling etwa nach $^1/_2$ Stunde sich äufserst langsam mit dem Scheitel gegen die Lichtquelle bewegt hat; nach 2 Stunden betrug der durchlaufene Bogen 5—10°, mehreremale noch mehr. Diese Bewegung war gewifs zum Teil durch radiometrische Kräfte verursacht; es sollte nun bewiesen werden, dafs ein Teil derselben auf die Rechnung der direkten physiologischen anziehenden Wirkung der Lichtstrahlen kommt. Es wäre wohl möglich, den Versuch so anzuordnen, dafs man zuerst den durchlaufenen Bogen des lebendigen Keimlings messen würde, ihn dann abtötete und wieder drehen liefse; doch schien mir diese Methode weniger lohnend, da ich gefürchtet habe, dafs sich die zu ermittelnden Bewegungen vielleicht innerhalb der Versuchsfelder verlieren würden.

Ich habe deshalb folgende indirekte Methode gewählt. Nehmen wir an, dafs durch den Zug der Lichtstrahlen der schwebende Keimling um 1° dem Licht genähert wird. Die auf diese pondoremotorische Wirkung angewandte Kraft ist also verbraucht worden und deshalb für die Krümmung des Keimlings verloren gegangen; je mehr an Kraft auf die Bewegung des Keimlings verbraucht wird, desto weniger wird er sich krümmen können; ein solcher Keimling wird wie auf eine geringere Lichtintensität reagieren müssen. Wenn aber zwei gleiche Keimlinge unter sonst gleichen Bedingungen beleuchtet werden, von welchen jedoch der eine befestigt wurde, der andere an dem Kokonfaden frei schwebte, so mufs, falls überhaupt das Licht ponderomotorisch und anziehend wirkt, der freischwebende Keimling sich weniger als der feste krümmen. Wenn keine Torsionskräfte und sonstige Wirkungen den schwebenden Keimling an der Bewegung hindern würden, so müfste er sich offenbar ohne jede Spur der Krümmung mit seiner Längsachse in die Richtung der Lichtstrahlen stellen; je schwächer die Zugkraft der Lichtstrahlen ist, desto mehr wird sich die Krümmung des schwebenden Keimlings der des festen nähern.

Bekanntlich reagieren die Pflanzen nicht mit physikalischer, quantitav exakt angebbarer Präzision auf den phototropischen Reiz; man mufs immer auf ziemlich bedeutende individuelle Variationen gefafst sein; dieselben müssen durch eine gröfsere Anzahl von Versuchen unschädlich gemacht werden.

Der feste und der schwebende Keimling waren durchschnittlich etwa 1,5 cm voneinander entfernt (der feste lag, wie oben erwähnt,

unter dem schwebenden); ich habe zuerst geprüft, ob innerhalb dieser Entfernung die Lichtintensität nicht empfindlich variiert. Der Versuch wurde so angestellt, dafs beide Keimlinge an einem Korkstöpsel in horizontaler Lage befestigt und in der angegebenen Weise beleuchtet waren. Das Ergebnis von 20 mit *Vicia, Pisum* und *Avena* angestellten Versuchen war, dafs in drei Fällen beide Keimlinge ganz gleich gekrümmt waren, in acht Fällen war der untere mehr als der obere und in neun Fällen der obere Keimling mehr als der untere gekrümmt, nachdem sie einer Beleuchtung von 2—8 Stunden gleichzeitig ausgesetzt wurden. Im ganzen haben also die unteren wie die oberen Keimlinge gleich reagiert.

Ich habe nun je einen festen und einen freien Keimling beleuchtet und die Krümmung beider nach einer bestimmten unten angegebenen Zeitdauer miteinander verglichen. Noch mufs bemerkt werden, dafs durch die Bewegung des freien Keimlings derselbe eine etwas andere Lage gegen das Licht als der feste eingenommen hat; doch kann dies aufseracht gelassen werden, denn selten betrug die Bewegung mehr als etwa 10°. Die Krümmung beider Keimlinge nach einem Mafsstab anzugeben, will ich unterlassen, denn die Zahlen würden sehr ungenau ausfallen müssen, da der Keimling immer in zwei Ebenen (geotropisch nach oben und phototropisch seitlich) gekrümmt war, was die Messung sehr erschwert hat. Ich gebe also im Folgenden nur an, ob der eine oder der andere sich mehr gekrümmt hat, und zwar ist durch + angegeben, wenn der freie weniger, durch — wenn er sich mehr gekrümmt hat und durch ±, dafs kein Unterschied zwischen beiden merklich war.

Nr.	Art	Versuchs-dauer in Stunden	Reaktion	Bemerkung
1	Pisum	18	+	Mit dem Rücken gegen das Licht gekehrt
2	„	3	+	do
3	„	2	+	do.
4	„	10	±	do. Beide Keimlinge stark geotropisch, darum die Gröfse der phototropischen Reaktion weniger deutlich erkennbar
5	„	1.5	+	do.
6	„	2.5	+	Mit der Seite gegen das Licht
7	„	2.5	+	Rücken gegen das Licht
8	Vicia	2.5	+	Die Seite beleuchtet
9	„	3	—	Rücken beleuchtet
10	Pisum	2	+	do.

Nr.	Art	Versuchs-dauer in Stunden	Reaktion	Bemerkung
11	Pisum	2	+	Rücken beleuchtet
12	„	3	—	do.
13	„	4	+	do.
14	„	3	+	do.
15	„	3.5	+	do.
16	„	2	+	do.
17	„	4	+	do.
18	„	3	+	do.
19	„	3	—	Seite beleuchtet
20	„	2.5	+	do.
21	„	3.5	+	Rücken beleuchtet
22	„	5	±	do.
23	„	5	+	do.
24	„	4	—	do.
25	Vicia	2	+	do.
26	Avena	2.5	+	
27	„	2 5	—	Der untere Keimling hat nicht reagiert
28	Vicia	3	+	Rücken beleuchtet
29	Avena	4	+	
30	Pisum	10	+	do.
31	„	3	—	do.
32	„	4.5	+	
33	„	13	±	do. Beide K. haben sehr schwach rea-
34	„	4.5	+	do. [giert
35	„	5	+	do.
36	Vicia	3	+	do.
37	„	2	+	do.
38	Pisum	4	—	do.
39	„	9	+	do.
40	„	5	+	do.
41	„	3	+	do.
42	„	9	+	do.
43	„	2.5	+	do.
44	„	6	±	do.
45	Avena	10	±	
46	Pisum	4.5	—	Rücken beleuchtet
7—50	Avena	4	+ (viermal)	
51	Vicia	3	+	do.

Wenn ich in dieser Tabelle diejenigen Fälle, wo kein Unter-hied zwischen der Krümmung des oberen und des unteren Keim-ngs bemerkbar war, zu den ungünstigen zähle, so fallen aus den

51 Einzelversuchen 39 Fälle für die Theorie günstig, 12 ungünstig aus. Im ganzen haben sich also die freibeweglichen Keimlinge in 76,5 % der Einzelversuche schwächer als die festen gegen das Licht gekrümmt.[1]) Da diese Abnahme der Krümmung durch keine äufsere Ursache bedingt sein konnte, mufs sie nur dadurch entstanden sein, dafs ein Teil der den Keimling krümmenden Kraft auf die Bewegung desselben angewendet wurde.

Wenn auch die Versuche dafür einen Beweis liefern, dafs der Lichtstrahl einen Keimling anzieht, so zeigen doch die 23,5 % der für die Theorie ungünstigen Fälle, dafs die Versuchsmethode noch zu grob war und dafs durch sekundäre Wirkungen die Resultate mehr als sonst zulässig gestört worden sind. Ich kann im vorhinein nichts anderes daraus schliefsen, als dafs die anziehende Lichtkraft äufserst schwach sein mufs; für eine auch nur annähernd quantitative Schätzung derselben sind offenbar die mitgeteilten Versuche untauglich.

Meine Theorie von der physiologischen Spannung der Lichtstrahlen hatte bisher wenig Anklang gefunden. Ich schmeichle mir nicht, dafs die hier mitgeteilten Versuche die Theorie so gänzlich über jeden Zweifel erheben. Vielleicht wird aber doch die Mitteilung einige Forscher zu einem ernsteren Nachdenken über die Theorie und zu einigen mehr originellen Versuchen als es die meinigen sind anspornen. Ich werde mich selbstverständlich selbst auch weiter bemühen, handgreiflichere Tatsachen zu finden, die als Stütze für dieselbe dienen könnten.

Den ersten Teil der hier angeführten Versuche habe ich im pflanzenphysiologischen Institut der böhmischen Universität in Prag, den zweiten in meinem Privatlaboratorium ausgeführt.

---

1) In der Tabelle sind die Versuche in derselben Reihenfolge angeführt, in der sie gemacht wurden. Es ist vielleicht nicht überflüssig darauf aufmerksam zu machen, dafs das Verhältnis der günstigen und ungünstigen Falle innerhalb der ganzen Versuchsreihe, welche etwa $1^1/_2$ Monate gedauert hat, ziemlich konstant bleibt.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Flora oder Allgemeine Botanische Zeitung

Jahr/Year: 1904

Band/Volume: 93

Autor(en)/Author(s): Radl Em.

Artikel/Article: Über die Anziehung der Organismen durch das Licht 167-178