oder ohne Formaldehyd gezogenen Pflanzen. Aber hier waren die Pflanzen, welche bloß in CO₂-freier Luft kultiviert wurden, kleiner und hatten annähernd gleich große Primordialblätter wie die Pflanzen der Formaldehyd-Kultur¹⁾.

Vielleicht werden Versuche mit verschiedenen Pflanzen in Formaldehydatmosphäre in schwachem Licht oder bei völligem Lichtabschluß darüber Aufschluß geben, ob Formaldehyd von Pflanzen zu assimilatorischen Zwecken herangezogen werden kann, oder ob er nur als formativer Reiz wirkt²⁾.

Über die Untersuchungen von A. H. Blaauw, betreffend die Beziehung zwischen Lichtintensität und Beleuchtungsdauer bei der phototropischen Krümmung von Keimlingen von *Avena sativa*.

Von Prof. F. A. F. C. Went (Utrecht)³⁾.

Autorisierte Übersetzung aus dem Englischen von Paul Fröschel (Wien)⁴⁾.

Vor einigen Jahren versuchte Wiesner⁵⁾, die minimale Lichtintensität zu bestimmen, bei der verschiedene Pflanzen noch phototropisch reagieren. Er fand z. B., daß beim Epikotyl von *Pisum sativum* und beim Hypokotyl von *Lepidium sativum* die

¹⁾ Auf der Abbildung sind einige Primordialblätter, der mit und ohne Formaldehyd gezogenen Bohnen, dargestellt. I. Normale Luft + Formaldehyd, II. Normale Luft, III. CO₂-freie Luft + Formaldehyd, IV. CO₂-freie Luft.

Herrn Dr. Alois Jeněič sprechen wir für die Ausführung der photographischen Aufnahme unseren herzlichsten Dank aus.

²⁾ Benedicenti et De Toni G. B., Atti del R. Ist. veneto di Sc., litt. ed arti 1901—1902. T. LXI., parte 2, p. 239 und T. LXI., parte 1, p. 41, zit. nach Botan. Zentralblatt 1904. II. p. 427.

Bouilhac R., l. c., 1902.

Bouilhac et Giustiniani l. c.

³⁾ Proceedings of the Meetings of Saturday September 26, 1908.

⁴⁾ Die vorliegende Übersetzung, zu der Herr Prof. Went mich gütigst autorisierte, rechtfertigt sich durch die in theoretischer, ganz besonders aber in methodologischer Hinsicht überaus wichtigen Ergebnisse Blaauws. Die Untersuchung bestätigt zunächst ein Gesetz, das der Übersetzer für die Abhängigkeit der Präsentationszeit von der Lichtintensität festgestellt hat (die diesbezügliche Abhandlung war Herrn Prof. Went zur Zeit, als er dieses Referat schrieb, noch nicht zu Gesicht gekommen), verfolgt aber diese Gesetzmäßigkeit innerhalb wesentlich weiterer Grenzen. Die Feststellung ganz besonders, daß bei entsprechend intensiver Beleuchtung die Präsentationszeit bis auf $\frac{1}{1000}$ Sekunde sinkt, zusammengehalten mit den Tatsachen der feinen Unterschiedsempfindlichkeit der Pflanzen (Wiesner) und der außerordentlich kurzen Perzeptionszeit (Fitting), muß die reizphysiologische Methodik reformieren und sie zu ebenso exaktem Arbeiten anspornen, wie es bei psychophysischen Experimenten längst der Fall ist.

⁵⁾ J. Wiesner, Die heliotropischen Erscheinungen im Pflanzenreiche, p. 178—180. Wien, 1878.

Grenze der Empfindlichkeit bei 0·054 N. K. noch nicht erreicht ist. (Wiesner drückt dies in einer Einheit aus, welche gleich ist 6·5 Walrat-Kerzen.) Für das Epikotyl von *Phaseolus multiflorus* liegt diese Grenze genau bei 0·054 N. K. Während der Autor in diesem Falle die Dauer der Experimente nicht angibt, stellt er für das Epikotyl von *Vicia sativa* fest, daß bei einer Intensität von 0·054 N. K. die Krümmung nach 3 Stunden 45 Minuten zu erscheinen begann, wohingegen das gleiche Organ von *Vicia faba* bei der nämlichen Lichtintensität selbst nach 48 Stunden keine Krümmung aufwies. In keinem dieser Fälle wurde also der Versuch gemacht, jene minimale Zeit zu finden, während welcher Licht von gegebener Intensität auf eine Pflanze wirken muß, um eine phototropische Krümmung hervorzurufen. Später führte Figdor¹⁾ ähnliche Experimente aus. Hier kann nur das Resultat erwähnt werden, daß die untere Grenze der phototropischen Empfindlichkeit unterhalb 0·0003262 N. K. gelegen ist, u. zw. für Keimlinge von *Lepidium sativum*, *Amarantus melancholicus ruber*, *Papaver paeoniflorum* und *Lunaria biennis*²⁾.

Czapek hinwiederum hat sich mit der Bestimmung der Präsentationszeit beschäftigt. Darunter versteht er die minimale Zeit einseitiger Beleuchtung, die zur Hervorrufung einer nachher einsetzenden phototropischen Krümmung erforderlich ist. Für Keimlinge von *Phalaris* und von *Avena* bestimmt er diese Zeit mit ungefähr 7 Minuten, obwohl er die dabei herrschende Lichtintensität nicht angibt. Vermutlich beobachtete der Autor die Notwendigkeit solcher Angaben deshalb nicht, weil seine Untersuchung fast ausschließlich den Geotropismus betraf, wo dem Begriff der Präsentationszeit, abgesehen von anderweitiger Spezifizierung, eine ziemlich genau abgegrenzte Bedeutung zukommt, da wir uns ja hier mit der stets konstanten Schwerkraft befassen.

Die Frage, ob ein Zusammenhang zwischen Präsentationszeit und Lichtintensität besteht, war gleichwohl nabeliegend. In seiner weiteren Untersuchung über die Perzeption phototropischer Reize hat nun Herr A. H. Blaauw in meinem Laboratorium auch diese Frage aufgegriffen und ist dabei zu einigen überraschenden Resultaten gelangt, über die ich in dieser kurzen vorläufigen Mitteilung berichten will.

Die Experimente wurden mit etiolirten Keimlingen von *Avena sativa* durchgeführt, deren Koleoptile für Lichtreize außer-

¹⁾ W. Figdor, Versuche über die heliotropische Empfindlichkeit der Pflanzen. Sitzungsber. d. math.-naturw. Klasse der k. Akademie der Wissensch. Wien, Bd. CII, Abt. I, 1893.

²⁾ Es sei hier noch bemerkt, daß Wiesner in der Erwägung, „daß die faktische Lichtempfindlichkeit eines Pflanzenorgans erst gefunden ist, wenn die Intensität jener Strahlen ermittelt wurde, die den Heliotropismus bedingen“, die in N. K. ausgedrückten Lichtintensitäten in Bunsen-Roscoe'sche Einheiten umrechnete. Er fand als untere Grenze der heliotropischen Empfindlichkeit bei *Amarantus melancholicus* eine Intensität von 0·000000026. Siehe: Wiesner, Versuch einer Bestimmung der unteren Grenze der heliotropischen Empfindlichkeit nebst Bemerkungen zur Theorie des Heliotropismus. Ost. Botan. Zeitschr. 1893.

Anm. d. Übers.

ordentlich empfindlich sind, wie ja seit Darwins und Rotherts Untersuchungen wohl bekannt ist.

Für schwächere Intensitäten wurde eine Auerlampe benützt, die mit Hilfe eines Gasdruck-Regulators sehr konstant gehalten wurde. Durch Aufstellen der Objekte in verschiedenen Entfernungen von der Lampe und, wenn nötig, durch Abdecken des Lichtes mit Hilfe geschwärzter Gläser, endlich durch Auffallenlassen des Lichtes auf eine mit einer Blende versehene Milchglasscheibe, die nun ihrerseits als Lichtquelle fungierte, waren alle möglichen Intensitäten von 100 Hefner-Kerzen abwärts erhältlich. Die Intensität wurde mittels eines Weber-Photometers bestimmt. Die Gaslampe befand sich außerhalb des Versuchsraumes, so daß die Versuchspflanzen gegen jeden schädlichen Einfluß des Kohlendampfes geschützt waren.

Für größere Lichtintensitäten wurde die elektrische Bogenlampe einer Demonstrationslaterne benützt, deren Licht, durch Linsen konzentriert, Intensitäten bis zu 48.000 Hefner-Kerzen zu liefern imstande war.

Die Dauer der Belichtung bewegte sich zwischen 13 Stunden und 0.001 Sekunden; die sehr kurzen Beleuchtungszeiten wurden mit Hilfe eines photographischen Momentschlitzverschlusses erzielt.

Die Pflanzen wurden nun in verschiedenen Entfernungen von der Lichtquelle aufgestellt, eine bestimmte Zeit beleuchtet, dann im Dunkeln belassen und nach ungefähr 2 Stunden auf eine phototropische Krümmung geprüft. Waren Entfernung und Zeit passend gewählt, so konnte eine ganz bestimmte Grenze so gefunden werden, daß unterhalb einer gewissen Lichtintensität keine Krümmung eintrat, während oberhalb dieser Intensität alle oder fast alle Keimlinge gegen das Licht zu gekrümmt waren. Man kann daher sagen, daß zu einer gegebenen Expositionszeit eine gewisse minimale Lichtintensität zur Perzeption erforderlich ist, oder, korrekter gesprochen, zur Hervorrufung einer Reaktion erforderlich ist, da wir ja von der eigentlichen Perzeption des Lichtreizes nichts wissen.

Es war bereits ein verblüffendes Resultat, daß während, wie oben gesagt, die Präsentationszeit zu 7 Minuten angenommen wurde, Blaauw bei seinen Experimenten noch dann eine Reaktion erhielt, wenn die Exposition auf 0.001 Sekunde herabgesetzt wurde, wofern nur das Licht sehr stark war.

Die Resultate werden noch bedeutsamer, wenn man sie zahlenmäßig ausdrückt, wie dies in der folgenden Tabelle der Fall ist. Die erste Kolumne gibt die Länge der Expositionszeiten an, die zweite die zugehörigen Lichtintensitäten (in Hefner-Kerzen), welche eben zur phototropischen Reaktion hinreichten. Die dritte Kolumne gibt das Produkt aus den erwähnten zwei Größen, wobei die Zeit in Sekunden ausgedrückt ist, so daß das Produkt als Sekunden-Kerze bezeichnet sein mag. Mit andern Worten: Die dritte Kolumne zeigt in jedem Falle an, wieviel Licht man hätte

während einer Sekunde auf die Pflanze fallen lassen müssen, um den gleichen Lichteffect zu erzielen wie bei den Experimenten.

I. (Expositionszeit)	II. (Lichtintensität in Hefner-Kerzen)	III. (Sekunden-Kerzen)
13 Stunden	0·000439	20·6
10 "	0 000609	21·9
6 "	0·000855	18·6
3 "	0·001769	19·1
100 Minuten	0·002706	16·2
60 "	0·004773	17·2
30 "	0·01018	18·3
20 "	0·01640	19·7
15 "	0 0249	22·4
8 "	0·0498	23·9
4 "	0·0898	21·6
40 Sekunden	0·6156	24·8
25 "	1·0998	27·5
8 "	3·0281	24·2
4 "	5·456	21·8
2 "	8·453	16·9
1 "	18·94	18 9
$\frac{2}{5}$ "	45·05	18·0
$\frac{2}{25}$ "	308·7	24·7
$\frac{1}{25}$ "	511·4	20·5
$\frac{1}{55}$ "	1,255	22·8
$\frac{1}{100}$ "	1,902	19·0
$\frac{1}{400}$ "	7,905	19·8
$\frac{1}{800}$ "	13,094	16·4
$\frac{1}{1000}$ "	26,520	26 5

Aus den Kolonnen I und II folgt gleichzeitig, daß bei kürzerer Exposition die Lichtstärke vergrößert werden muß, um eine Krümmung zu erhalten. Die berechneten Werte der Kolonne III zeigen außerdem, daß die Lichtintensität der Expositionsdauer indirekt proportioniert ist oder, mit anderen Worten, daß, unabhängig von der Expositionsdauer, eine bestimmte Lichtmenge erforderlich ist, um eine Reaktion hervorzurufen. Allerdings sind die Werte in Kolonne III nicht alle gleich, aber sie oszillieren augenscheinlich um einen Mittelwert. Völlige Übereinstimmung wird auch bei solchen Experimenten nicht erwartet werden können, wenn man bedenkt, daß die Grenze zwischen Krümmung und Nichtkrümmung nicht immer exakt bestimmt werden kann; überdies sind die Haferkeimlinge natürlich individuellen Variationen unterworfen, welche man nur dadurch eliminieren könnte, daß man bei jeder Bestimmung eine lange Serie von Experimenten machte; endlich konnten in den verschiedenen Versuchen die äußeren Bedingungen der Feuchtigkeit, Temperatur usf. nicht völlig konstant gehalten werden.

Es war kein Beweggrund mehr vorhanden, Expositionszeiten von weniger als 0·001 Sekunden, noch auch solche von mehr als

13 Stunden zu wählen, da die erhaltenen Resultate zur Genüge zeigen, daß die wesentliche Bedingung für die Hervorrufung einer phototropischen Krümmung im Darbieten einer bestimmten Menge strahlender Energie besteht. Ob diese Quantität in einer sehr kurzen Zeit oder nur außerordentlich langsam dargeboten wird, ist völlig nebensächlich. Daher ist dieses Resultat in völliger Übereinstimmung mit Pfeffers Ansicht (wenigstens so weit sie Lichtreize betrifft), daß die Wirkung eines Reizes als ein Phänomen der „Auslösung“ aufzufassen ist.

Ein ähnlicher kritischer Wert wurde auch für das menschliche Auge konstatiert. Es ist gewiß sehr schwierig, Beobachtungen am Menschen mit Reaktionen der Pflanzen in bezug auf den Einfluß des Lichtes zu vergleichen, aber die Beobachtungen von Bloch und Charpentier verraten nichtsdestoweniger eine genaue Analogie zwischen diesen beiden Arten von Erscheinungen. Dies ist nicht leichter zu zeigen, als indem ich eine Stelle aus dem letzten der beiden Autoren zitiere¹⁾:

„Wir haben das perzipierbare Minimum²⁾ für Reizzeiten zwischen $\frac{2}{1000}$ und $\frac{125}{1000}$ Sekunden variieren gesehen. Bei diesen Bedingungen ändert sich das perzipierbare Minimum immer in genau umgekehrter Weise wie die Reizdauer. Ist das Licht intensiv, so wird es diesen Effekt in kürzerer Zeit hervorrufen, ist es schwach, so wird es im Gegenteil länger dauern müssen. Damit die Empfindung zustande komme, ist es nötig, daß auf eine gegebene Netzhautzone innerhalb einer bestimmten Zeit, um es so auszudrücken, eine konstante Lichtmenge auffalle, wobei es wenig verschlägt, ob diese Lichtmenge auf eine große oder kleine Zone sich verteilt, ob sie rasch oder langsam die Retina erreicht. Das ist eine wichtige Tatsache, für die Analoga auf anderen Gebieten der Reizerscheinungen zu suchen gut wäre.“

Aus Untersuchungen, die Bach³⁾ publiziert hat, dürfen wir vielleicht schließen, daß für die geotropische Krümmung Ähnliches gilt, als Blaauw für die phototropische gefunden⁴⁾. Ich hoffe, daß weitere Untersuchungen in meinem Laboratorium in diesen Punkt noch Klarheit bringen werden.

¹⁾ Nach dem französischen Zitat übersetzt. Charpentier, Archives d'Ophthalmologie, X., 1890, p. 122—123.

²⁾ Hier ist wohl gemeint: das perzipierbare Minimum des Reizes.

Der Übers.

³⁾ H. Bach, Über die Abhängigkeit der geotropischen Präsentations- und Reaktionszeit von verschiedenen äußeren Faktoren. Jahrb. f. wiss. Botanik, Bd. XLIV, 1907, p. 86.

⁴⁾ Dieser Schluß ist sogar mit aller Gewißheit zu ziehen! In der „Untersuchung über die heliotropische Präsentationszeit“ habe ich auch betont, daß die Ergebnisse Bachs für den Geotropismus, L. Linsbauers für die Anthokyaninduktion (Wiesner-Festschrift 1908) und auch das Talbotsche Gesetz nur verschiedene Ausdrücke der nämlichen Grundbeziehung sind. Auch das Fittingsche Sinusgesetz (Fitting, Jahrb. f. wiss. Bot., 1905) ist in diesem Sinne deutbar und dann wohl verständlich.

Anm. d. Übers.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Österreichische Botanische Zeitschrift = Plant Systematics and Evolution](#)

Jahr/Year: 1909

Band/Volume: [059](#)

Autor(en)/Author(s): Went Frits Warmolt

Artikel/Article: [Über die Untersuchungen von A. H. Blaauw, betreffend die Beziehung zwischen Lichtintensität und Beleuchtungsdauer bei der phototropischen Krümmung von Keimlingen von Avena sativa. 74-78](#)