

Einfaches Demonstrations-Flimmerphotometer

Die technische Bewertung der Intensität verschiedenfarbiger Lichtquellen stützt sich auf die internationale Hellempfindlichkeitskurve, die ihrerseits vorwiegend auf flimmerphotometrischen Messungen beruht. Wir erlauben uns auf eine einfache Anordnung aufmerksam zu machen, die den besonderen Vorzug aufweist, daß der Beobachter die beiden Lichter, die er für einen größeren Kreis sichtbar auf Flimmergleichheit eingestellt hat, daneben im Direktvergleich sehen kann.

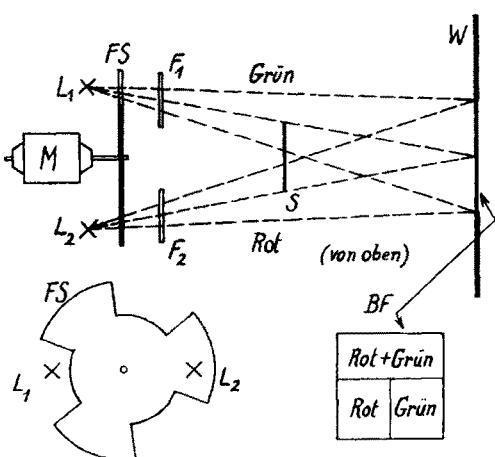


Abb. 1

Zu Abb. 1: Der Motor M treibt die Flimmerscheibe FS (Durchmesser: 30—50 cm, Zahl der Lichtunterbrechungen n : bis 40 pro Sekunde), welche abwechselungsweise den Weg für das Licht der Kinoprojektionslampen L_1 und L_2 (mindestens 200 Watt) freigibt. Die Färbung erfolgt durch Farbgläser (F_1 und F_2 , z. B. die Schott-Gläser BG 7, 1 mm dick, blaugrün, und OG 3, 1 mm dick, orangerot). Das Licht fällt auf eine im Abstand von 1—2 m von der Flimmerscheibe aufgestellte, in die Lichtschutzwand W eingelassene Opalglasscheibe BF (Durchmesser 20 cm). Die Beobachtung erfolgt in Abb. 1 von rechts. S ist ein rechteckförmiger Schirm mit einer Breite gleich dem halben Lampenabstand. Er teilt das Beobachtungsfeld BF in der angedeuteten Weise, so daß neben der Überlagerung die farbigen Lichter einzeln zu sehen sind. Die Veränderung der Intensität der einen Lampe erfolgt mittelst Vorwiderstand oder Reguliertransformator.

Es lassen sich unter Steigerung der Flimmerfrequenz folgende Phänomene zeigen:

- $n = 0$; nach Entfernung des roten oder des grünen Glases: Simultankontrast-Wirkungen.
- n niedrig; oberes Feld: Sukzessivkontrast-Wirkungen.
- n höher, aber etwas kleiner als die optimale Flimmerfrequenz; oberes Feld auf Flimmerminimum eingestellt: Farbflimmern verschwunden, Helligkeitsflimmern noch nicht (Prinzip des Flimmer-Photometers).
- n optimal; oberes Feld: in kleinem Intensitätsbereich auch Helligkeitsflimmern verschwunden (Definition der Flimmergleichheit).
- n größer als die kritische Frequenz der unteren Felder: Direktvergleich der beiden im vorigen Versuch als flimmergleich erklärt Felder.

„wie oben, ein farbiges gegen ein ungefärbtes Licht abgeglichen: Überschätzung der Helligkeit satter Farben (FARBENGLUT, „Wirksamkeitsplus“).

F. BUCHMÜLLER und H. KÖNIG

Eidg. Amt für Maß und Gewicht, Bern, den 17. März 1945.

Über die Ursache des gegensätzlichen geotropischen Verhaltens von Sproß und Wurzel

Bekanntlich wird die Lage, welche die Organe der Pflanze im Raum einnehmen, weitgehend durch ihre Reaktion auf Licht und Schwerkraft bedingt. Eine Hauptbedeutung der Wuchsstoffhypothese liegt nun darin, daß es mit ihrer Hilfe gelingt, die durch Schwerkraft oder Licht bewirkten Wachstumsreaktionen, also das geotropische oder phototropische Verhalten der Pflanze, auf eine gemeinsame Ursache, nämlich den Quertransport des Auxins im reagierenden Pflanzenteil zurückzuführen. WENT¹ und DOLK² haben experimentell bewiesen, daß in horizontal gelegten, also geotropisch gereizten Hafer-Koleoptilen Wuchsstoff nach unten, in einseitig belichteten, an die Schattenflanke wandert und sich dort anhäuft. Die Schwierigkeit, die einer allgemeinen Anwendung der Wuchsstoffhypothese anfänglich im Wege stand, daß nämlich nach Wuchsstoffzufuhr wohl eine Förderung des Sproßwachstums, aber stets eine Hemmung des Wurzelwachstums gefunden wurde, konnte durch den Nachweis beseitigt werden, daß allgemein die Streckungswuchsstoffe je nach ihrer Konzentration das Wachstum beider Organe hemmen oder fördern, daß ihre quantitative Wirkung auf das Wachstum jedes Organs als Optimumkurve dargestellt werden kann und daß zudem die Wurzel bedeutend empfindlicher auf Wuchsstoffe reagiert als der Sproß^{3,4}. So beträgt z. B. die Wuchsstoffkonzentration für optimales Wachstum der isolierten Maiswurzel in Nährösung bei 22°C nur etwa $3 \cdot 10^{-11}$ molar Heterauxin, für den Keimsproß der Gurke dagegen etwa $3 \cdot 10^{-4}$ molar.

Ungelöst aber ist noch immer das Problem, weshalb Sprosse in die Höhe, Wurzeln jedoch gegen den Erdmittelpunkt zu wachsen, jene sich also negativ geotrop diese sich dagegen positiv geotrop verhalten.

Aus dem tatsächlich festgestellten Empfindlichkeitsunterschied dieser Organe auf Wuchsstoff und den wachstumshemmenden respektive wachstumsfördernden Eigenschaften aller Streckungswuchsstoffe, läßt sich in des die Hypothese entwickeln, daß diese Organe so und nicht anders reagieren müssen, weil normalerweise die Wurzel einen überoptimalen, der Sproß jedoch einen unteroptimalen Gehalt an Wuchsstoff besitzt. Dies bedeutet, daß unter dem Einfluß der geotropischen Reizung und infolge des Quertransports von Wuchsstoff sich zwangsläufig auf der Unterseite der Wurzel ein stark überoptimaler, also wachstumshemmender, auf der Unterseite des Sprosses dagegen zwar kein optimaler, aber doch höherer und damit gegen vorher wachstumsfördernder Gehalt an Wuchsstoff ausbilden muß.

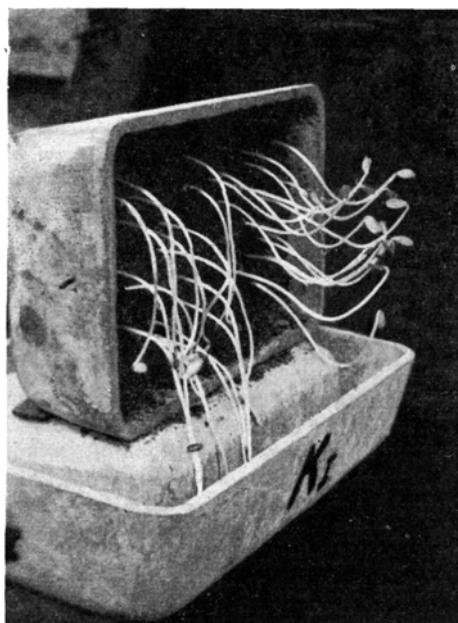
¹ WENT, F. W., Rec. trav. bot. néerl. 25 (1928), 1—116.

² DOLK, H. E., Diss. Univ. Utrecht (1930).

³ GEIGER-HUBER, M. und BURLET, E., Jahrb. wiss. Bot. 84 (1936), 233—253.

⁴ WÜRGLER, W., Diss. Univ. Basel (1942).

Umgekehrt wird durch die Abwanderung von Wuchsstoff die Oberseite geotropisch gereizter Organe wuchsstoffärmer¹; dies führt bei der Wurzel zu einem *weniger* stark überoptimalen Gehalt, so daß dann das Wachstum der Oberseite gegenüber demjenigen vor der Reizung weniger stark gehemmt ist, beim Sproß dagegen wird die für ein optimales Wachstum bereits zu wuchsstoffarme Oberseite nach der Reizung *noch* wuchsstoffärmer, das Wachstum daher gegenüber vorher geringer. Der durch die geotropische Reizung verursachte Unterschied im Wuchsstoffgehalt von Ober- und Unter-



Kürbiskeimlinge geotropisch gereizt. Hintere Pflanzen unbehandelt, vordere mit überoptimaler Konzentration an Heterauxin behandelt.

(Demonstrationsversuch.)

seite bewirkt also eine deutliche Differenz in der Wachstumsgeschwindigkeit beider Seiten, was bei der Wurzel zum Abwärtswachsen führt und sich beim Sproß im Aufrichten äußert.

Diese Anschauung gewinnt erst dann genügend an Wahrscheinlichkeit, wenn es gelingt, durch geeignete, experimentelle Änderung des Wuchsstoffgehaltes von Sproß und Wurzel, vor allem durch seine Verschiebung gegenüber dem für das Wachstum optimalen Gehalt, den Sinn der geotropischen Reaktion bei diesen Organen umzukehren. Um dies zu erzwingen, müßte in Konsequenz der geäußerten Anschauung offenbar der Wuchsstoffgehalt der Wurzel im Experiment herab-, jener des Sprosses aber heraufgesetzt werden.

Durch geeignete Dekapitation der Wurzelspitzen gelang es uns, den Wuchsstoffgehalt von Maiswurzeln soweit zu vermindern, daß zwar nicht die geotropische Reaktion völlig umgekehrt wurde², aber doch bei den allermeisten Objekten *ausblieb*, wie es dann zu erwarten ist, wenn der

¹ DOLK, H. E., Diss. Univ. Utrecht (1930).

² Die Erzielung negativ geotroper Wurzeln scheiterte bis jetzt daran, daß es bei der enorm hohen Wuchsstoffempfindlichkeit der Wurzeln noch nicht gelingen wollte, sie experimentell genügend wuchsstoffarm zu machen.

Wuchsstoffgehalt gerade den für das Längenwachstum *optimalen* Wert erreichte. Daß es sich dabei nicht etwa nur um Schädigungen oder Wundreaktionen gehandelt hat, wird dadurch bewiesen, daß auch solche Wurzeln wachsen und nach dem Aufsetzen künstlicher Spitzen (aus Kieselsäuregel) mit geeigneten Konzentrationen zusätzlichen Wuchsstoffs (Heterauxin), die positiv geotropische Reaktion wiederum eintrat. Der Versuch beweist ferner, daß die Wurzeln zu dieser Reaktion zwar eines *geeigneten Wuchsstoffgehaltes*, aber weder der Wurzelspitze, noch der dort lokalisierten Statolithenstärke bedürfen. Damit kann auch die lange gehegte Vorstellung fallen gelassen werden, wonach die Statolithenstärke bei der Perzeption des Schwerkraftreizes durch die Wurzel eine maßgebende Rolle spielt.

Ebenso ist es auch gelungen, die negativ geotropische Reaktionsweise von Sprossen verschiedenster Versuchspflanzen experimentell *umzukehren*, so daß sie sich wie Wurzeln verhielten und nach unten wuchsen (siehe Abbildung). Es war hiezu lediglich nötig, durch eine geeignete zusätzliche Wuchsstoffgabe (z. B. Heterauxin) den Wuchsstoffgehalt der Keimstengel *überoptimal* werden zu lassen, was dank der hohen Lipoidlöslichkeit des Heterauxins^{1,2} gelang, ohne die Pflanzen verletzen oder sonst schädigen zu müssen. Wesentlich ist, daß jener *quantitative Zusammenhang* zwischen angewandter Wuchsstoffkonzentration und Reaktionsweise, wie er von unserer Anschauung gefordert wird, tatsächlich auch *gefunden* wurde, indem nämlich bei Verwendung von Heterauxinkonzentrationen, die sich im Wachstumsversuch mit den Keimstengeln als *unteroptimal* erwiesen hatten, die geotropische Reaktion der behandelten Keimpflanze *normal* (also negativ geotrop) blieb, bei Verwendung einer *überoptimalen Konzentration* sich jedoch *umkehrte* (also positiv geotrop wie bei einer Wurzel ausfiel) und schließlich bei Verwendung einer als *optimal* ausgewiesenen Konzentration, die geotropische Reaktion erwartungsgemäß *ausblieb* und die Keimstengel lediglich *horizontal weiter wuchsen*. Dies beweist, daß das Vorhandensein eines *geeigneten Wuchsstoffgehaltes* im Sproß (übrigens auch in der Wurzel) eine *wichtige Voraussetzung* bildet für das *Vermögen* eines Organs geotropisch zu reagieren und für den charakteristischen, normalen Ablauf dieser Reaktion. Es muß allerdings beigelegt werden, daß es sich dabei nicht um einen bestimmten *absoluten Wuchsstoffgehalt* handelt, sondern um einen solchen, der auf die bestehende und offenbar charakteristische Wuchsstoffempfindlichkeit des betreffenden Organs *abgestimmt* ist.

Man kann sich daher auch vorstellen, daß die geotropische Reaktion eines Organs und sein Wachstum überhaupt, nicht nur, wie eben gezeigt, durch eine Veränderung des Wuchsstoffgehaltes, sondern, was ja den gleichen Effekt haben muß, auch durch eine *Änderung in der Wuchsstoffempfindlichkeit* verändert werden kann. Nach unseren Erfahrungen scheint es wohl möglich und sogar wahrscheinlich, daß sowohl der Wuchsstoffgehalt, wie auch die Empfindlichkeit für Wuchsstoff bei den einzelnen Organen *im Laufe ihrer Entwicklung sich ändert* und dadurch z. B. jenes eigenartige geotropische Verhalten zustande kommt, wie es in den Wachstumskrümmungen von Sproßspitzen jüngster Keimlinge, von Stielen der Blütenknospen, von Fruchtstielen, usw. sich oftmals äußert. In der Tat ist es uns denn auch gelungen, die Wuchsstoffempfindlichkeit von Sprossen

¹ GEIGER-HUBER, M. und SUTTER, E., Verh. Schweiz. Natf. Ges. (1943), 121—123.

² SUTTER, E. Diss. Univ. Basel (1944).

experimentell zu ändern; die Untersuchung dieser interessanten und bedeutungsvollen Erscheinung ist jedoch noch nicht abgeschlossen.

MAX GEIGER-HUBER und HANS HUBER

Botanisches Institut der Universität, Basel, den
17. März 1945.

stücke wünschbar ist. Von besonderem Interesse ist die Kenntnis der *äußeren Abmessungen* des herausgegriffenen Knäuels, vor allem seiner *Längsabmessung* H (Fig. 1). Man wird daher nach der Häufigkeit fragen, mit der bestimmte Werte der Größe H auftreten. Wir messen sie durch die Wahrscheinlichkeit $W(H)dH$ dafür, daß die Längsabmessung eines hervorgehobenen Moleküls einen zwischen H und $H+dH$ liegenden Wert annimmt.

Äußere Abmessungen von Fadenmolekülen in Lösung

Im gelösten Zustande können Fadenmoleküle zufolge der Valenzwinkelung und der teilweisen freien Drehbarkeit der die Kettenglieder verknüpfenden Bindungen sehr verschiedene Gestalten annehmen. Einige der sich bildenden Knäuelformen kommen aus statistischen Gründen besonders häufig, andere seltener vor. Auf Grund von Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen läßt sich die Häufigkeit angeben, mit der bestimmte, die zufällige Gestalt charakterisierende Parameter, wie etwa Längs- und Querabmessung der Knäuel, auftreten.

Eine für die zufällige Gestalt eines hervorgehobenen Moleküls besonders charakteristische Größe ist der Abstand h zwischen Anfangspunkt und Endpunkt des Molekülfadens (Fig. 1). Wie insbesondere von W. KUHN gezeigt worden ist, lassen sich nämlich bei alleiniger Kennzeichnung eines Moleküls durch den Vektor h dessen

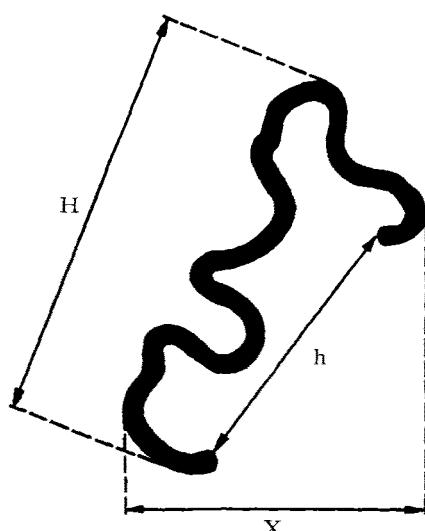


Fig. 1

mechanisches¹, optisches² und hydrodynamisches³ Verhalten mit sehr guter Näherung beschreiben.

Man erkennt nun aber leicht, daß für die vollständige Beschreibung der Gestalt und der von der Gestalt abhängigen Eigenschaften eines gegebenen Moleküls, wie etwa sein Verhalten im Strömungsgefälle, außer der Angabe der Größe h (Abstand von Anfangspunkt und Endpunkt des Fadens) die Angabe weiterer Bestimmungs-

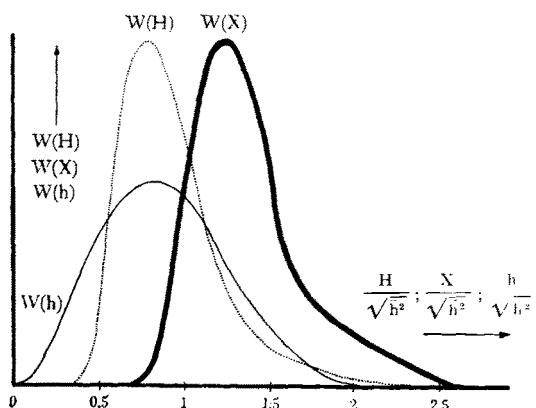


Fig. 2

Die Berechnung zeigt nun, daß die Verteilungsfunktion $W(H)$ von einer einzigen für die betreffende Molekülart charakteristischen Größe abhängt, nämlich vom mittleren Abstandsquadrat \bar{h}^2 ¹ zwischen Anfangspunkt und Endpunkt des Fadens, von derselben Größe, welche die von W. KUHN² berechnete Verteilungsfunktion $W(h)$ der Endpunktsabstände h festlegt.

Die Abhängigkeit der Verteilungsfunktion $W(H)$ von der Längsabmessung H wird durch Fig. 2 veranschaulicht. Der darin ersichtliche, stark ausgezogene Linienzug stellt den Ausdruck $W(H)$ als Funktion der Größe $H/\sqrt{\bar{h}^2}$ dar. Fig. 2 gibt gleichzeitig die von W. KUHN erhaltene Verteilungsfunktion $W(h)$ der Endpunktsabstände h in Abhängigkeit von $h/\sqrt{\bar{h}^2}$ als schwach ausgezogene Linie wieder. Die im Mittel anzutreffende Längsabmessung des Knäuels, für die wir uns ganz besonders interessieren, ist gleich $\bar{H} = 1,5 \bar{h} = 1,4 \sqrt{\bar{h}^2}$, wenn wir mit \bar{h} den Mittelwert des Abstandes zwischen Anfangspunkt und Endpunkt des Fadens bezeichnen. Die mittlere Querabmessung \bar{Q} gelöster Fadenmoleküle wird dagegen gleich: $\bar{Q} = 0,5 \bar{H} = 0,8 \bar{h} = 0,7 \sqrt{\bar{h}^2}$.

Die enge Verknüpfung der für das hydrodynamische Verhalten maßgebenden Größen H und Q mit dem Abstande h der Fadenenden läßt erkennen, daß das Verhalten eines Fadenmoleküls in der strömenden Lösung durch alleinige Angabe seines Vektors h schon mit recht guter Näherung beschrieben werden kann, eine Tatsache, die den erwähnten, vor einiger Zeit durchgeführten Betrachtungen über Viskosität und Strömungsdoppelbrechung einer Lösung von Fadenmolekülen³ als Voraussetzung zugrunde liegt.

In ganz ähnlicher Weise wie die Verteilungsfunktion $W(H) dH$ der Längsabmessungen gelöster Fadenmoleküle angegeben werden kann, läßt sich auch die Wahr-

¹ Denken wir uns den Faden in N statistische Fadenelemente der Länge A eingeteilt, so ist $\bar{h}^2 = NA^2$. Näheres hierüber siehe W. KUHN, Experientia 1, 6 (1945).

² W. KUHN, Kolloid-Z. 68, 2 (1934).

³ W. KUHN und H. KUHN, Helv. 26, 1394 (1943).

1 W. KUHN, Kolloid-Z. 76, 258 (1936), Angew. Chem. 51, 640 (1938).

2 W. KUHN und F. GRÜN, Kolloid-Z. 101, 248 (1942).

3 W. KUHN und H. KUHN, Helv. 26, 1394 (1943).